

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE UM NOVO BLOCO PARA PAREDE DUPLA

ANA MARGARIDA CAMPOS DIAS DA COSTA

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo
Rodrigues

JULHO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miiec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de exprimir o meu agradecimento ao orientador deste trabalho, o Professor Doutor Rui Calejo Rodrigues, o estímulo, dedicação e ensinamentos partilhados, ao Eng. ° Fernando Teixeira, pela prontidão com que atendeu às questões colocadas, ao Eng. ° Rui Sousa pela amabilidade com que me acolheu e por todo o auxílio prestado.

Uma palavra de reconhecimento às empresas Maxit e Flex 2000, pelo fornecimento dos materiais, sem os quais não teria sido possível a realização deste trabalho.

De uma forma muito especial, gostaria de lembrar os amigos que me apoiaram nesta fase, que acreditaram que seria possível levar este trabalho até ao fim e que respeitaram as minhas decisões.

RESUMO

A população tem vindo a demonstrar um crescente interesse e sensibilidade aos problemas relacionados com o ruído. Como resultado, aumentam também as exigências, obrigando a um maior rigor na abordagem a este problema.

Dominar as tecnologias de construção é importante para garantir o bom desempenho dos elementos construtivos. As tendências no sector da construção têm vindo a alterar-se, podendo identificar-se um caminho mais direccionado para a produção em fábrica, preterindo os trabalhos em estaleiro.

O objectivo proposto para este trabalho é o de caracterizar o desempenho acústico de um novo bloco simples que tivesse a vantagem de se comportar como uma parede dupla, conseguindo-se diminuir o tempo de realização de tarefas em obra, apostando na prefabricação como forma de alcançar maior rigor e consequentemente mais qualidade.

O bloco misto concebido consiste em dois blocos de betão leve separados por espuma de poliuretano que é colada aos blocos, ocupando todo o espaço entre os mesmos. Durante a colagem é dado um desfasamento à espuma, de tal forma que os blocos quando colocados formem um encaixe do tipo macho-fêmea que impõe uma descontinuidade nas juntas horizontal e vertical, perturbando a passagem do ruído nesses pontos frágeis.

Para a caracterização acústica a sons aéreos ensaiou-se em câmara reverberante uma parede constituída pelos blocos referidos. Estimou-se o seu comportamento através de modelos de previsão para paredes duplas e comparou-se com o obtido no ensaio experimental. Verificou-se que os resultados obtidos eram relativamente próximos, o que indica que os modelos de previsão suportam os resultados obtidos. Desta forma, considera-se que podem ser usados para antever, com alguma segurança, o comportamento do elemento.

Destinados a paredes de separação entre fogos estes blocos apresentarão vantagem em relação às técnicas tradicionais de construção se todo o sistema que constitui a parede cumprir as exigências regulamentares e ao mesmo tempo levar a uma redução dos custos.

Concluiu-se que o bloco misto em análise apresenta bons resultados para o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea e que o tempo de construção da parede encurta significativamente o que pode justificar um ganho financeiro na sua aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: acústica, isolamento sonoro, bloco misto betão-espuma, prefabricação.

ABSTRACT

Population in general has been showing a growing interest and sensibility to problems related with noise. As a result, the demands for performance increase, revealing a highest rigour approaching this problem.

To guarantee a good performance of construction elements it's extremely important to dominate the construction technologies. Nowadays we can identify a tendency to ready-made elements instead of in situ works.

The present work is proposed to study a new bloc performance which incorporates sound insulation so that it's possible to reduce task times. Ready-made elements are supposed to reach higher rigour and consequently more quality.

This new block consists of two light concrete blocks divided for polyurethane foam that is glued to the blocks. The foam is positioned detached from the blocks so that it forms a male-female junction when fitting them together.

To know the airborne sound insulation, a wall made with those blocks was tested in a reverberating room. With prevision models for double walls the results have been compared with the ones obtained in the reverberating room. The results demonstrate that the prevision models give close values to the one obtained in the experimental job.

This block seems to take some profit comparatively to traditional double walls as it can reduce global costs and lead to less time to build the same areas.

For conclusion, the block in study had good results to airborne sound insulation, in accordance with the Portuguese rules, and shortened the tasks duration so that it is possible to take financial benefits of that.

KEYWORDS: acoustics, sound insulation, concrete-foam mixed block, prefabrication.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 JUSTIFICAÇÃO DO TRABALHO	1
1.2. MOTIVAÇÃO	2
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	2

2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 5

2.1 INTRODUÇÃO	5
2.2 ORIGEM E EVOLUÇÃO DA ACÚSTICA	5
2.3 ACÚSTICA E O SISTEMA AUDITIVO	7
2.4 ENQUADRAMENTO ECONÓMICO-SOCIAL	9
2.5 ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR	10
2.5.1 CRONOLOGIA REGULAMENTAR DO RUÍDO	11
2.5.2 REGULAMENTO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS	12

3 NOÇÕES GERAIS 15

3.1 INTRODUÇÃO	15
3.2 ISOLAMENTO SONORO	15
3.2.1 REDUÇÃO SONORA, R.....	15
3.2.2 ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS AÉREOS ENTRE LOCAIS	16
3.2.3 ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA, RW	18
3.2.4 TRANSMISSÃO DE SOM ATRAVÉS DE PAREDES SIMPLES	20
3.2.5 PAREDES DUPLAS	25
3.2.6. ISOLAMENTO SONORO EM PAREDES DUPLAS	27

4 ABORDAGEM DAS TECNOLOGIAS DE CONSTRUÇÃO. 29

4.1 INTRODUÇÃO	29
4.2 PREFABRICAÇÃO	29
4.3 EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS	30
4.3.1 SEGURANÇA	31
4.3.2 ESTANQUIDADE.....	32
4.3.3 CONFORTO.....	32
4.3.4 DURABILIDADE, MANUTENÇÃO E LIMPEZA.....	33
4.3.5 FACILIDADE DE TRANSPORTE E MONTAGEM/DESMONTAGEM.....	33
4.3.6 ECONOMIA.....	33
4.4 CONSIDERAÇÕES TECNOLÓGICAS	33
4.4.1 REGRAS DE EXECUÇÃO DE PAREDES DE ALVENARIA DE BLOCOS DE BETÃO	35
4.4.1.1 Armazenamento dos blocos de betão	35
4.4.1.2 Trabalhos preparatórios	35
4.4.1.3 Protecção para tempo seco e quente e para tempo frio	35
4.4.1.4 Interrupção e retoma dos trabalhos.....	35
4.4.1.5 Marcação de cota de referência	35
4.4.1.6 Humidificação dos blocos	36
4.4.1.7 Implantação	36
4.4.1.8 Juntas	36
4.4.1.9 Reparação de defeitos localizados acidentais	36

5 DESENVOLVIMENTO DO MODELO 37

5.1 INTRODUÇÃO	37
5.2 MATERIAIS	37
5.2.1 BLOCO TÉRMICO.....	37
5.2.2 BLOCO LEVE INDUSTRIAL.....	38
5.2.3 ARGAMASSA DE COLAGEM.....	38
5.2.4 ESPUMA	38
5.3 MODELO	39
5.3.1 INTRODUÇÃO	39
5.3.2 DESCRIÇÃO DO MODELO.....	39

5.3.3 CONCRETIZAÇÃO DO MODELO	45
5.3.4 CONSTRUÇÃO DA PAREDE	47
5.4 CONCLUSÕES	48
6 MODELOS DE PREVISÃO	51
6.1 INTRODUÇÃO	51
6.2 MÉTODO DE SHARP	51
6.3 MÉTODO DE MEISSER	54
6.4 MÉTODO EXPERIMENTAL.....	55
6.4.1 CÂMARA REVERBERANTE	56
6.4.2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS	56
6.4.3 AMOSTRA A ENSAIAR.....	56
6.4.4 METODOLOGIA DE ENSAIO	56
7 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	59
7.1 INTRODUÇÃO	59
7.2 RESULTADOS OBTIDOS.....	59
7.2.1 MÉTODO EXPERIMENTAL NP EN 20140-3.....	59
7.2.2 MODELOS DE PREVISÃO	64
7.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	67
7.4 ANÁLISE REGULAMENTAR.....	69
7.5 ANÁLISE ECONÓMICA.....	70
7.5.1 RENDIMENTO DA MÃO-DE-OBRA	70
7.5.2 RENDIMENTOS PARA A SOLUÇÃO EXECUTADA	73
7.5.3 ENCARGOS COM OPERÁRIOS	73
7.5.4 COMPARAÇÃO ENTRE CONSTRUÇÃO TRADICIONAL E CONSTRUÇÃO COM BLOCOS MISTOS ..	74
8 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO	77
BIBLIOGRAFIA	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Teatro Romano	6
Fig. 2 – Pressão sonora e correspondência em níveis de pressão sonora	8
Fig. 3 – Notícias sobre ruído	9
Fig. 4 – Organograma da evolução dos regulamentos na área da acústica	12
Fig. 5 – Esquema dos compartimentos emissor e receptor	17
Fig. 6 – Ilustração das transmissões directa e marginais	18
Fig. 7 – Valores de referência para sons de condução aérea, segundo norma NP EN ISO 717-1	19
Fig. 8 – Comportamento de parede simples em função da frequência	20
Fig. 9 – Frequência crítica	23
Fig. 10 – Distribuição dos trabalhos em fábrica, estaleiro e escritório	30
Fig. 11 – Evolução do tipo de parede empregue em edifícios	34
Fig. 12 – Evolução do Índice de Redução Sonora com a alteração da configuração das paredes	34
Fig. 13 – Espuma de poliuretano	39
Fig. 14 – Ideia inicial de bloco misto	40
Fig. 15 – Vistas do bloco inicial	41
Fig. 16 – Bloco misto estudado	41
Fig. 17 – Vistas do bloco misto estudado	41
Fig. 18 – Bloco leve com junta vertical preenchida	42
Fig. 19 – Bloco leve com junta vertical seca	42
Fig. 20 – Esquema de parede em zona corrente	43
Fig. 21 – Meios blocos	43
Fig. 22 – Blocos de primeira fiada	44
Fig. 23 – Blocos de última fiada	44
Fig. 24 – Blocos de início e fim de fiada	44
Fig. 25 – Parede com utilização de blocos correntes e “especiais”	45
Fig. 26 – Molde para fabricação do bloco misto	45
Fig. 27 – Fabricação do bloco misto – primeiro bloco	46
Fig. 28 – Fabricação do bloco misto – colocação de argamassa de colagem	46
Fig. 29 – Fabricação do bloco misto – colocação de argamassa de colagem sobre espuma de poliuretano	47
Fig. 30 - Bloco misto pronto	47

Fig. 31 – Parede realizada com blocos mistos.....	48
Fig. 32 – Método de Sharp	52
Fig. 33 – Comportamento de parede dupla, base do método de Meisser	54
Fig. 34 – Esquema das câmaras reverberantes	60
Fig. 35 – Tempo de reverberação para as bandas de terço de oitava	62
Fig. 36 – Resultados obtidos com o método experimental	64
Fig. 37 – Resultados obtidos pelo modelo de previsão de Sharp.....	66
Fig. 38 – Resultados obtidos pelo modelo de previsão de Meisser	66
Fig. 39 – Comparação dos resultados pelos vários métodos	67
Fig. 40 – Índice de redução sonora obtido por cada método	68

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros aplicáveis a edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras	14
Quadro 2 – Exigências de segurança contra riscos de incêndio	31
Quadro 3 – Medições efectuadas no compartimento emissor.....	61
Quadro 4 – Medições efectuadas no compartimento receptor	61
Quadro 5 – Redução sonora por banda de frequências	63
Quadro 6 – Características dos blocos individuais	65
Quadro 7 – Redução sonora obtida pelos diferentes métodos.....	68
Quadro 8 – Coeficientes de correcção dos valores teóricos das tabelas de rendimentos	70
Quadro 9 – Rendimentos de mão-de-obra para execução de paredes de betão	71
Quadro 10 – Rendimentos de mão-de-obra para colocação de isolamento	72
Quadro 11 – Retribuição mínima de alguns profissionais do sector da construção.....	73
Quadro 12 – Salário horário dos operários que intervêm na construção de uma parede	74
Quadro 13 – Tempo de execução da parede com blocos mistos.....	75
Quadro 14 – Tempo de execução de parede dupla segundo método tradicional	75

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A	Área de absorção sonora equivalente (m^2)
B	Módulo de rigidez à flexão ($\text{kg.m}^2/\text{s}^2$)
BLI	Bloco Leve Industrial
BT	Bloco Térmico
c_L	Velocidade de propagação das ondas longitudinais no material (m/s)
c_0	Celeridade (m/s)
CF	Corta Fogo
d	Espessura da caixa-de-ar (m)
d	Espessura do elemento (m)
D	Isolamento sonoro bruto (dB)
D_n	Isolamento sonoro normalizado (dB)
$D_{n,w}$	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado (dB)
E	Modulo de Young (Pa)
f	Frequência (Hz)
f_c	Frequência crítica (Hz)
f_n	Frequência de ressonância de cavidade de ordem n (Hz)
f_0	Frequência de ressonância do sistema para elementos duplos (Hz)
f_{rc}	Frequências de cavidade (Hz)
f_{res}	Frequência de ressonância (Hz)
h	Espessura (m)
I_i	Intensidade sonora incidente (W/m^2)
I_t	Intensidade sonora transmitida (W/m^2)
k	Número de onda (m^{-1})
K	Coefficiente de transmissão térmica ($\text{W}/\text{m}^2.\text{°C}$)
m	Massa superficial (kg/m^2)
$p\cdot$	Pressão sonora (Pa)
ps	Pressão sonora (Pa)
$RGEU$	Regime Geral das Edificações Urbanas
RGR	Regime Geral Sobre o Ruído
$RLPS$	Regime Legal Sobre a Poluição Sonora
$RRAE$	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

R	Redução sonora (dB)
R'	Redução sonora <i>in situ</i> (dB)
R_w	Índice de redução sonora (dB)
S	Superfície (m ²)
T	Tempo de reverberação (s)
V	Volume (m ³)
ρ	Densidade (kg/m ³)
ρ_o	Massa específica do ar (kg/m ³)
η	Factor de perdas do material
τ	Coefficiente de transmissão
ω	Frequência angular (rad/s)
ν	Coefficiente de Poisson

INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICAÇÃO DO TRABALHO

A dinâmica do emprego nos nossos dias caracteriza-se por uma grande concentração nos centros urbanos. Como tal, a procura de habitação acompanha esta tendência. Verifica-se pois que estes centros apresentam um aglomerado populacional elevado. Tal facto fez evoluir a indústria da construção, passando-se do tradicional edifício unifamiliar para os multifamiliares. A partilha de elementos de construção entre fogos resulta deste tipo de construção, que, por vezes, gera problemas de ruído devido ao tipo de construção que possui.

A consciencialização da população para esta questão e a crescente procura de conforto habitacional a que se tem assistido levam a que se invista mais no conhecimento dos fenómenos que estão associados à transmissão do som. Aliado a tudo isto desenvolvem-se novos sistemas construtivos com recurso a materiais inovadores o que introduz novos desafios na busca do conhecimento para chegar a uma solução satisfatória.

A necessidade de melhoria do desempenho acústico dos elementos de construção é mais evidente actualmente, resultado das crescentes consciencialização e procura de conforto, por parte da população, e do esquema habitacional a que se assiste nos dias de hoje. Prova disso é a exposição feita nos meios de comunicação sobre esta problemática, assistindo-se ao aumento generalizado de notícias referentes ao ruído e também de queixas, salientando-se que o excesso de ruído de vizinhos é a principal queixa que chega às autoridades.

As tendências de construção estão também a alterar-se. A opção por elementos prefabricados é cada vez mais uma realidade, ao invés dos realizados em estaleiro.

Por tudo isto, pretende-se desenvolver uma nova solução, para aplicação em paredes de separação entre fogos, que se revele eficiente na redução do ruído entre as habitações, contribuindo dessa forma para o aumento do conforto e satisfação dos ocupantes.

Este trabalho tem como objectivo caracterizar o desempenho acústico de um bloco misto, ou seja, um bloco que incorpora unidades de alvenaria e uma camada resiliente entre as unidades de alvenaria, de tal forma que a execução da parede dupla é feita de uma só vez, diminuindo o tempo das tarefas a realizar em obra e aumentando a qualidade do trabalho final (em muitas obras, a colocação de isolamento não é feita com os cuidados devidos, resultando num comportamento diferente do esperado).

1.2. MOTIVAÇÃO

A crise que se tem vindo a instalar no sector imobiliário conduz a que haja uma necessidade cada vez maior de gerar uma solução capaz de corresponder às expectativas do mercado e, ainda assim, ser competitiva do ponto de vista financeiro.

Tem-se verificado um aumento da pressão habitacional nos grandes centros urbanos e uma descompressão nos locais isolados tornando-os mais desertos.

Nos grandes centros urbanos é cada vez mais evidente a falta de espaço para construir devido à já referida pressão habitacional. Para colmatar este aspecto, novas formas de planejar cidades e habitações foram surgindo. A grande mudança deu-se quando habitações distintas passaram a partilhar paredes e pavimentos/tectos para dividir a fracções de cada habitação. Contrariamente ao que acontecia até então, em que as habitações eram rodeadas de vastas áreas com árvores, jardins ou campos de cultivo, hoje em dia, o espaço delimitador entre alojamentos é uma parede, muitas vezes, sem qualquer tipo de preocupação em relação ao ruído.

Este facto torna mais patente a incomodidade provocada pelo ruído de terceiros. Muitas pessoas ter-se-ão já confrontado com a necessidade de silêncio, para melhor concentração ou puro descanso, e, ao invés, são postas à prova pelos ruídos de vizinhos, nem sempre por culpa destes mas devido ao insuficiente ou inexistente isolamento sonoro.

Aliada a esta problemática, a crescente procura de conforto que a população tem vindo a demonstrar torna imperativo desenvolver as propriedades acústicas que as habitações exibem.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho encontra-se dividido em oito capítulos. Pretendendo-se caracterizar o bloco proposto acusticamente, esta temática rege quase todos os capítulos, exceptuando-se o quarto e quinto capítulos onde são introduzidos os conceitos fundamentais para a construção de alvenaria com blocos de betão e é apresentado o bloco que se propôs estudar.

No primeiro capítulo constam os objectivos deste trabalho bem como a estrutura que apresenta.

O segundo capítulo é constituído por uma introdução ao tema da acústica, despertando o leitor para a sua origem e acontecimentos relevantes ao longo da história. Foca-se o enquadramento regulamentar e identifica-se algumas particularidades do efeito do som nos seres humanos ilustrando a importância que tem nas suas vidas.

Os conhecimentos que estão na base do isolamento sonoro de sons de condução aérea, importantes para a compreensão da transmissão de som entre os elementos construtivos, são apresentados no capítulo três.

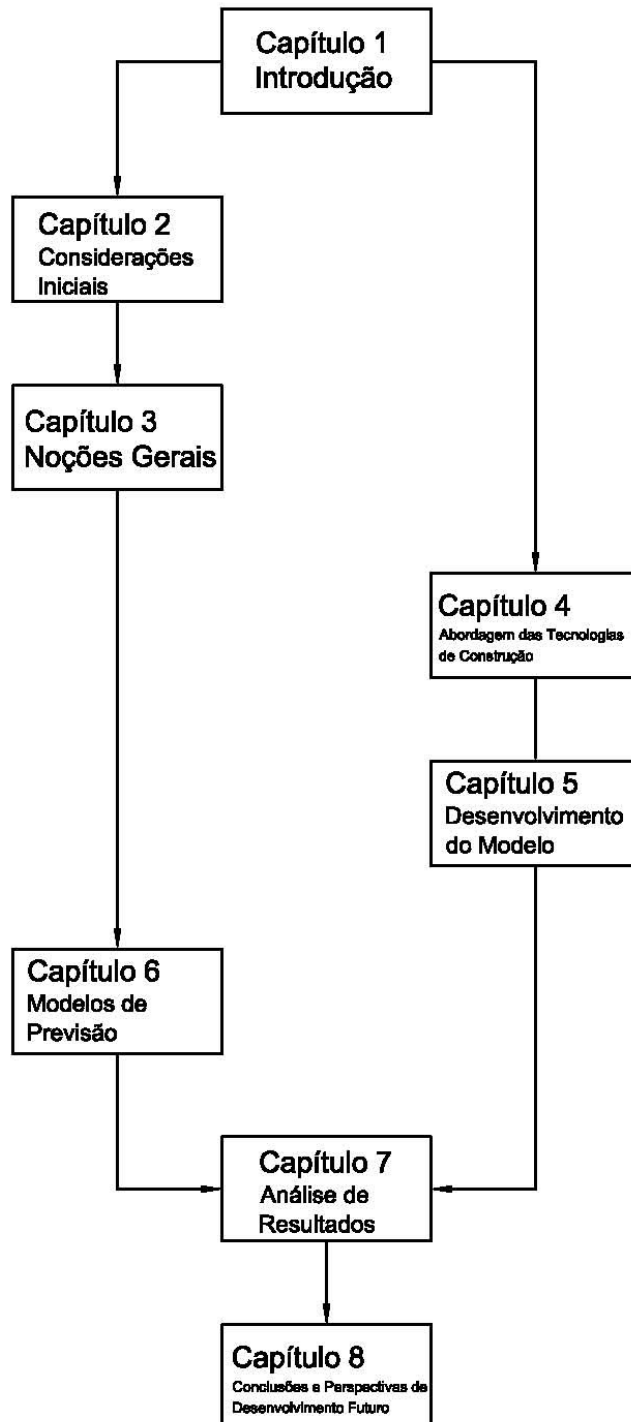
O capítulo quarto apresenta uma abordagem às tecnologias de construção. Os princípios a que a prefabricação obedece e as exigências funcionais que os elementos devem satisfazer são mencionados, bem como as tarefas a desenvolver para a realização de paredes em alvenaria de blocos de betão.

O quinto capítulo descreve os materiais utilizados na construção do bloco, é apresentado o modelo e o modo como foi realizado, e indica algumas condicionantes observadas.

O capítulo sexto propõe algumas metodologias para a previsão da redução sonora. Esclarece ainda os pressupostos de ensaio em câmara reverberante.

O capítulo sete resulta da análise dos resultados registados quer por via experimental, quer por via analítica através dos modelos de previsão. É feita ainda uma análise económica a este método construtivo para concluir sobre a sua aplicabilidade.

As conclusões observadas e perspectivas de desenvolvimento futuro compõem o capítulo oito.



2

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é dada a conhecer a evolução do pensamento acústico, desde os seus primórdios até à actualidade. Inclui-se também uma descrição da forma como os seres humanos percebem a acústica e o impacto que tem no seu dia-a-dia.

Destaca-se a regulamentação existente em Portugal no domínio da acústica de edifícios, que estabelece os valores mínimos de isolamento que os elementos de construção devem conferir.

2.2 ORIGEM E EVOLUÇÃO DA ACÚSTICA

A origem da acústica é uma questão para a qual não há uma resposta unívoca. Há registos de referências nos escritos da Mesopotâmia [1] mas como se pode garantir que esta foi a origem desta ciência?

Durante longos anos a acústica esteve intimamente ligada com a filosofia. Pitágoras (séc VI a. C.), matemático e filósofo, é considerada a primeira pessoa a destacar-se na investigação de sons musicais. Nos seus estudos, constatou que quanto menor fosse o comprimento de uma corda, mais agudo seria o som produzido, concluindo que ao comparar o som de uma corda com outra com metade do comprimento o intervalo dos sons produzidos era de uma oitava.[2]

Aristóteles (séc IV a. C.) sugeriu, correctamente, que uma onda sonora se propaga no ar através do movimento/deslocamento do ar. Outra das sugestões que deixou foi que as altas frequências se propagam mais rapidamente que as baixas frequências, o que não é verdadeiro. No entanto, este erro persistiu durante séculos. [3]

A primeira grande referência histórica da preocupação acústica de um local é da autoria de Vitruvius. Na sua obra, *De Architectura Libri Decem*, escreveu sobre a acústica de teatros gregos e romanos. Na figura 1 é possível observar o exemplo de um teatro romano. Este engenheiro e arquitecto romano evidenciou ainda conhecimentos sobre ecos e reverberação. Foi Vitruvius quem se referiu, pela primeira vez, aos vasos acústicos. [2]



Fig. 1 – Teatro Romano [34]

Já no século XVII, Galileu, devido às variadas experiências relacionadas com som, é considerado, por muitos, o fundador da acústica musical. [ing] Descobriu o fenómeno de ressonância e abordou a vibração por simpatia (verificou que quando uma corda oscilava provocava oscilações numa corda igual que estivesse próxima). Estabeleceu ainda relações entre frequência, comprimento, densidade, diâmetro e tensão.

Ainda no século XVII é estabelecido um valor para a velocidade do som com um erro aproximado de 10% ($c = 316$ m/s) da autoria de Mersenne. Este matemático francês estudou a vibração de cordas esticadas o que resultou nas três leis de Mersenne. A sua obra mais importante é *Harmonicorum Libri* (1636) que fornecia o básico da acústica musical moderna, da época. [3]

Até ao século XVII muitos filósofos e cientistas acreditavam que o som era propagado através de partículas invisíveis na fonte sonora e se moviam pelo espaço até atingir o ouvido. Kircher, através de uma experiência conhecida como campainha em vácuo, concluiu que o ar não era um factor importante para a transmissão do som. Em 1660, o cientista Robert Boyle melhorou a tecnologia do vácuo, concluindo que um meio como o ar é necessário para a transmissão de ondas sonoras. [3]

A Academia del Cimento deu um grande impulso à promoção da ciência experimental, realizando experiências sobre a propagação da luz e do som, obtendo o valor de 350 m/s para a velocidade do som.

Durante o século XVIII grandes matemáticos como Laplace, Lagrange, Bernoulli, Euler, d'Alembert e Fourier deram um grande contributo à compreensão de alguns fenómenos acústicos. As famosas séries de Fourier tiveram uma importância e alcance notáveis na acústica, bem como em outras áreas da física.

Ernst Chladni fez descobertas sobre a vibração das cordas, barras e placas, demonstrando a existência de ondas longitudinais nas barras. Em 1802 foi publicado o seu livro *Die Akustik*, onde constam as várias investigações que levou a cabo sobre o som. [4]

Começam a surgir livros com relevantes conhecimentos do domínio da acústica, donde se destacam:

- *Sound*, da autoria de Tyndal, que teve grande influência nos conhecimentos dos ingleses sobre o som;

- *Theory of Sound*, escrito por Rayleigh, aplicou exaustivamente a matemática para descrever fenómenos acústicos, sendo esta uma obra de referência no domínio da acústica, que ainda hoje é referenciada como base de estudos.

No século XX, Sabine publicou *Collected Papers on Acoustics* onde demonstrava conclusões importantes na acústica arquitectónica. A sua maior e mais famosa descoberta foi a determinação do tempo de reverberação de um determinado local. A célebre fórmula de Sabine foi desenvolvida

quando este foi contratado como consultor acústico de uma nova sala, *Boston Symphony Hall*, que é considerada uma das melhores salas de música de todos os tempos [2].

A acústica de salas ganhou novo impulso graças aos desenvolvimentos de Harris e Bacon.

O crescente interesse e desenvolvimento desta ciência inspirou novas obras literárias sobre esta temática tendo como “timoneiros” Beranek, Pierce, Morse, Hunt, e mais recentemente (1999) Beyer.

O desenvolvimento de aparelhos sonoros, como o telefone, foi uma grandiosa progressão no domínio acústico, sendo a companhia *Bell Telephone Laboratoires* a maior impulsionadora da procura de sistema de telefones cada vez mais moderno [5].

No entanto, talvez o maior avanço neste campo tenha decorrido da 2ª Guerra Mundial. A necessidade aguça o engenho e, por essa razão, criaram-se laboratórios de pesquisa em Inglaterra, França, Alemanha e Estados Unidos para melhor perceberem a propagação do som e daí tirarem partido.

Hoje em dia, a aplicação dos conhecimentos/descobertas acústicos não se restringem ao som mas tem uma abrangência em diversas áreas, como medicina através dos ultra-sons.

2.3 ACÚSTICA E O SISTEMA AUDITIVO

Acústica é o ramo da física que estuda a propagação do som. Na realidade o som não é mais que a sensação provocada no cérebro devido à captação, pelo sistema auditivo, de variações de pressão que se propagam através de um meio elástico, mais comumente, o ar.

O som só é “percebido” na presença de seres vivos com sistema auditivo ou na presença de instrumentos de medição. No entanto, nem todas as alterações de pressão são captadas pelo Homem.

A variação de pressão mínima detectável pelos humanos de audição normal é de cerca de 10^{-5} Pa, conhecido como limiar da audição. O limiar da dor corresponde à variação máxima de pressão, cerca de 100 Pa, a partir da qual o ruído passa a uma sensação dolorosa.

O intervalo de alterações de pressão é da ordem de 10^7 Pa. Quando apresentado em nível de pressão sonora, o intervalo toma como limite 130 dB.

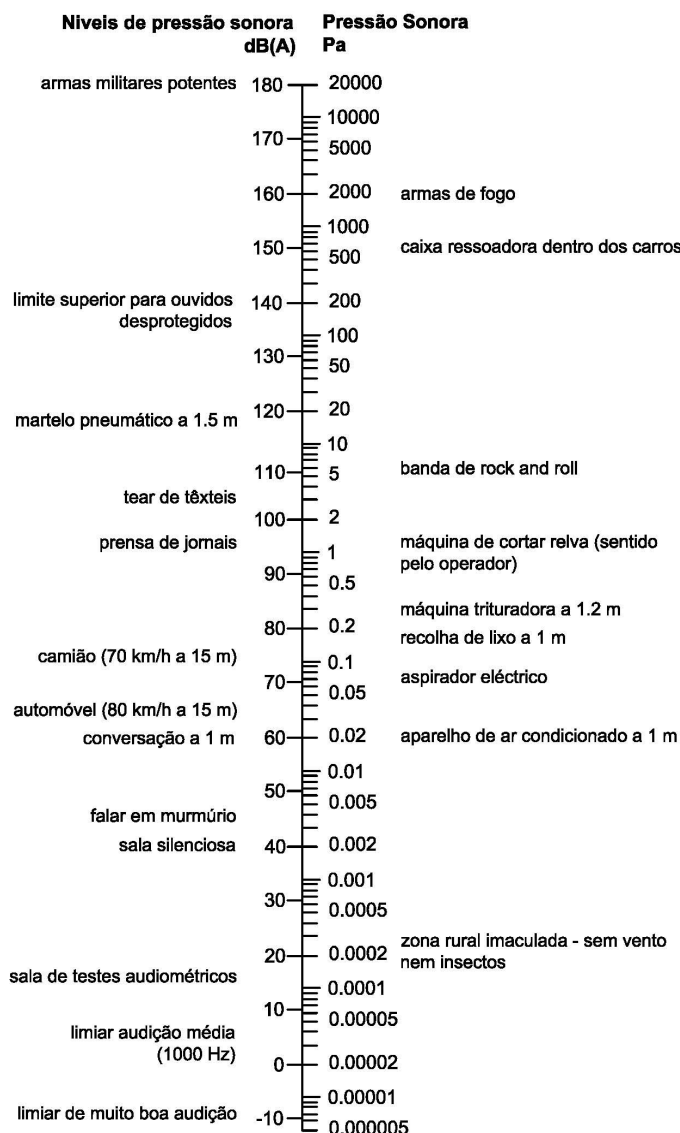


Fig. 2- Pressão sonora e correspondência em níveis de pressão sonora, adaptado de [27]

A exposição ao ruído, nos locais de trabalho e nas habitações, por vezes é feita de uma forma frequente e intensa. Em termos laborais, é aconselhado o uso de dispositivos protectores de ruído, o que nem sempre acontece. Quando a exposição ao ruído é muito elevada pode conduzir à perda de audição permanente, que só será notada quando afectar a gama de frequências audíveis¹.

A única protecção acústica natural de que o ouvido dispõe só é activada para níveis de pressão sonora acima dos 85 dB. Esta capacidade, reflexo acústico, é capaz de diminuir até 12 dB os ruídos de baixas frequências.

¹ A gama de frequências audíveis humanas está limitada entre os 20 Hz e 20KHz, em geral. Alguns animais têm uma gama mais vasta, sendo de notar a capacidade do morcego ouvir até aos 98 KHz.

Os danos causados pela exposição ao ruído podem ser demasiado nefastas bem como a incomodidade provocada. O estudo da propagação do som/ruído reveste-se assim, de extrema importância nos dias que correm.

2.4 ENQUADRAMENTO ECONÓMICO-SOCIAL

As primeiras preocupações de desempenho acústico prenderam-se com teatros ou locais de reunião. Posteriormente, surgiu a necessidade a consciência de que estas preocupações deveriam ser alargadas aos locais do dia-a-dia, como residência ou trabalho. Esta necessidade advém, além da crescente procura de conforto e bem-estar, da mecanização e concentração urbana, fruto da crescente industrialização sentida, que conduzem a um maior nível de ruído.

O ruído pode conduzir a perturbações no corpo humano, quando este ultrapasse os 70 dB ou 75 dB, além da redução ou mesmo perda de audição. Estas perturbações que podem ser traduzidas em ansiedade, stress, problemas de sono, etc, podem influenciar a prestação no local de trabalho, diminuindo a produtividade e aumentando o risco de acidentes. Estes efeitos podem ainda influenciar a conduta do indivíduo para com a sociedade, afectando o que deveria ser uma relação saudável.

A sociedade deparou-se com a necessidade de legislar os limites de ruído considerados aceitáveis de modo a proporcionar o bem-estar ou, se tal não for possível, minimizar o incomodo causado tanto no interior de habitações como nos locais de trabalho. Nos dias que correm, é comum encontrar notícias nos meios de comunicação sobre esse incómodo. Na figura 2 ilustra-se uma das muitas notícias que circulam sobre esta temática.

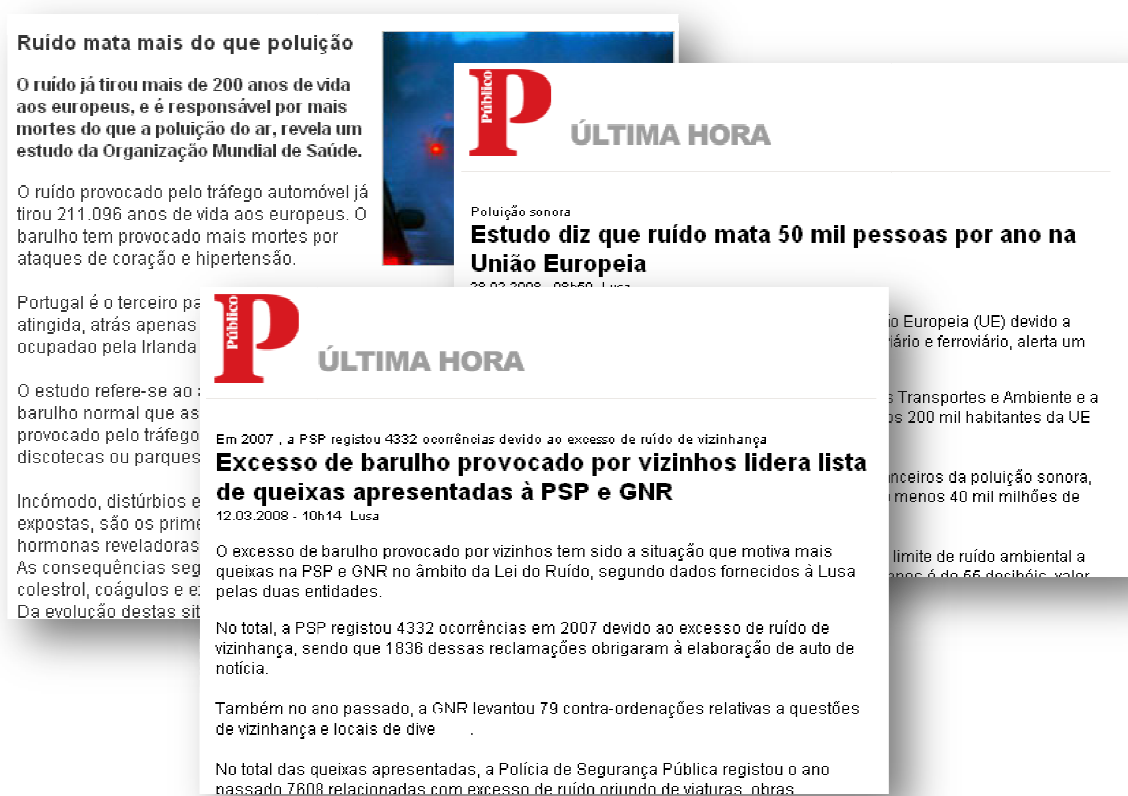


Fig. 3 – Notícias sobre ruído [6], [7]

Em Portugal a regulamentação acústica existe desde 1989, enquanto noutros países, como França, as especificações regulamentares relativamente a esta temática tinham já entrado em vigor alguns anos antes. Este facto reflecte a pouca importância conferida a uma temática tão sensível como a acústica, em Portugal.

Após a implementação do regulamento, a noção de incomodidade relacionada com o ruído foi ganhando força, traduzindo-se num aumento generalizado de queixas de ruído. Daí resulta a vontade de isolar, sob o ponto de vista acústico, os elementos de construção: paredes e pavimentos.

A continuação da pesquisa na área da acústica mostra-se essencial no presente. No interior das habitações as suas conclusões são aplicadas tentando dar resposta às exigências de conforto, tornando-se numa das actuais fortes apostas do mercado imobiliário.

Os estudos efectuados não se resumem ao panorama musical ou ligação à engenharia ou arquitectura. Verifica-se, actualmente, que campos como medicina, psicologia, linguística, etc., lançam mão de estudos desenvolvidos na área da acústica para progredirem na sua área.

2.5 ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR

A adopção de novas tipologias construtivas acarreta, além de todos os proveitos inerentes, algumas consequências nefastas. O incómodo provocado pelo ruído realizado noutras habitações é mais sentido devido à proximidade das habitações, como se verifica em edifícios de habitação multifamiliar, ou em banda, em que há a partilha de elementos construtivos.

Por isso, é essencial que as políticas de controlo de ruído e prevenção do mesmo sejam mais eficazes e actuais.

De acordo com o artigo 9º da Constituição da República Portuguesa é tarefa fundamental do Estado [8]:

d) promover o bem-estar e a qualidade de vida do povo e a igualdade real entre os portugueses, bem como a efectivação dos direitos económicos, sociais, culturais e ambientais, mediante a transformação e modernização das estruturas económicas e sociais;

Ainda nesta publicação estão consagrados os seguintes direitos:

Artigo 66º - Ambiente e qualidade de vida

1. Todos têm direito a um ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender.

2. Para assegurar o direito ao ambiente, (...) incumbe ao Estado, (...):

b) Ordenar e promover o ordenamento do território, tendo em vista uma correcta localização das actividades, um equilibrado desenvolvimento socio-económico e a valorização da paisagem;

e) promover, em colaboração com as autarquias locais, a qualidade ambiental das povoações e da vida urbana, designadamente no plano arquitectónico e da protecção das zonas históricas;

Artigo 81º - Incumbências prioritárias do Estado

Incumbe prioritariamente ao Estado no âmbito económico e social:

a) promover o aumento do bem-estar social e económico e da qualidade de vida das pessoas, em especial das mais desfavorecidas, no quadro de uma estratégia de desenvolvimento sustentável;

2.5.1 CRONOLOGIA REGULAMENTAR DO RUÍDO

As primeiras orientações relacionadas com a Acústica, para responder aos requisitos de qualidade na construção datam de 1951, quando foi publicado o Regulamento Geral das Edificações Urbanas, RGEU, aprovado pelo Decreto-Lei nº 38382, de 7 de Agosto de 1951 [9].

Na década de 80, a preocupação com a acústica dos edifícios intensificou-se. Em 1987, a 7 de Abril, surge a Lei de Bases do Ambiente (Lei nº 11/87). Esta publicação apresenta no artigo 22º as orientações referentes ao ruído [10]:

“1-A luta contra o ruído visa a salvaguarda da saúde e bem-estar das populações e faz-se através, designadamente:

- a) Da normalização dos métodos de medida do ruído;*
- b) Do estabelecimento de níveis sonoros máximos, tendo em conta os avanços científicos e tecnológicos nesta matéria;*
- c) Da redução do nível sonoro na origem, através da fixação de normas de emissão aplicáveis às diferentes fontes;*
- d) Dos incentivos à utilização de equipamentos cuja produção de ruídos esteja contida dentro dos níveis máximos admitidos para cada caso;*
- e) Da obrigação dos fabricantes de máquinas e electrodomésticos apresentarem informações detalhadas, homologadas, sobre o nível sonoro dos mesmos nas instruções de uso e facilitarem a execução das inspecções oficiais;*
- f) Da introdução nas autorizações de construção de edifícios, utilização de equipamento ou exercício de actividades da obrigatoriedade de adoptar medidas preventivas para eliminação da propagação do ruído exterior e interior, bem como das trepidações;*
- g) Da sensibilização da opinião pública para os problemas do ruído;*
- h) Da localização adequada no território das actividades causadoras de ruído.”*

O Regulamento Geral do Ruído (RGR) é aprovado ainda em 1987, Decreto-Lei nº 251/87, de 24 de Junho. No entanto, este documento “revelou-se pouco eficiente e de fraca aplicação” [12]. Verificava-se uma articulação deficiente dos critérios acústicos da edificação com outros factores decisivos para a qualidade da construção. Para fazer face a estas lacunas, a 14 de Novembro de 2000, é aprovado o novo Regime Legal Sobre Poluição Sonora que revoga o RGR e reforça a aplicação do princípio da prevenção em matéria do ruído [11].

“O regime actualmente em vigor, ainda que pioneiro e de inegável importância na regulação da poluição sonora, mostra-se hoje claramente insuficiente para a salvaguarda da saúde e do bem-estar das pessoas, sendo certo que a poluição sonora constitui um dos principais factores de degradação da qualidade de vida das populações. A prova-lo está a conflitualidade social gerada por situações ligadas ao ruído, muitas delas não cobertas pelo âmbito de aplicação do diploma até agora em vigor, o qual apresenta visíveis deficiências ao nível do controlo preventivo e repressivo do ruído, e mesmo da efectividade geral do regime.” [12]

Em 2002 e 2003 foram introduzidas algumas alterações pelos Decreto-Lei nº 76/2002, de 26 de Março, 259/2002, de 23 de Novembro, e 293/2003, de 19 de Novembro, para compatibilizar o regime legal com as normas aprovadas no Parlamento Europeu.

Com o Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de Janeiro, pretende-se “actualizar as normas e conferir coerência a um regime que se revela tão importante para a saúde humana e o bem-estar das populações.”

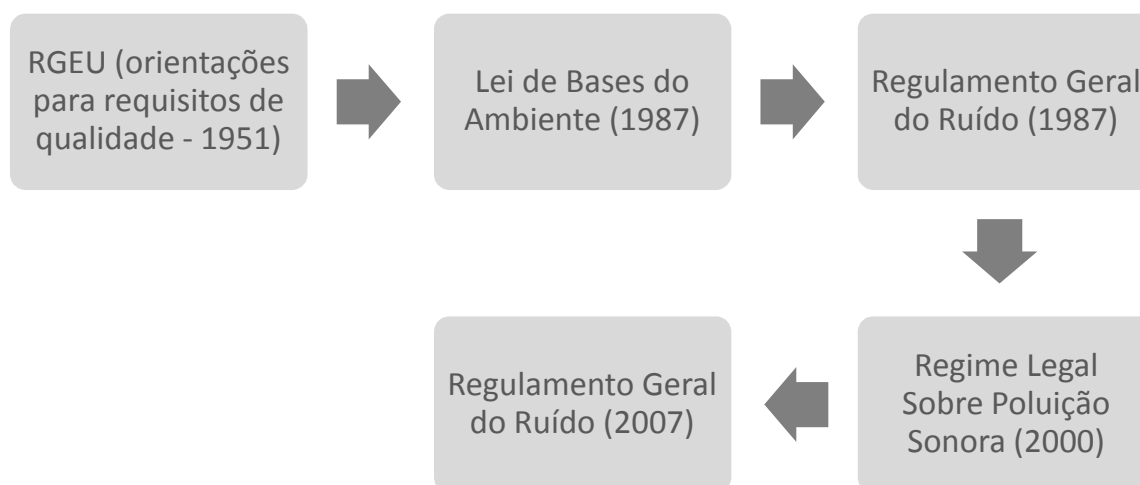


Fig. 4 – Organograma da evolução dos regulamentos na área da acústica

2.5.2 REGULAMENTO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS

2.5.2.1 Introdução

Este regulamento visa “regular a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação, e, em consequência, contribuir para a melhoria de qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações ” tendo “como princípios orientadores a harmonização, à luz da normalização europeia, das grandezas características do desempenho acústico dos edifícios e respectivos índices e a quantificação dos requisitos, atendendo, simultaneamente, quer à satisfação das exigências funcionais de qualidade dos edifícios quer à contenção de custos inerentes à execução das soluções necessárias à sua verificação”.

Devido às alterações introduzidas pelos diversos diplomas do Parlamento Europeu e do RGR de Janeiro de 2007 tornou-se necessário proceder a uma revisão do RRAE que datava de 11 de Maio de 2002. Com o decreto-lei nº 96/2008 pretende-se assegurar a “coerência entre a legislação que regula a exposição ao ruído exterior e os requisitos exigidos para a qualidade habitacional e o uso dos edifícios” [13].

O âmbito de aplicação do RRAE é alargado, passando agora a ser incluídos sectores que até então não constavam das publicações regulamentares. As unidades hoteleiras tem agora critérios mínimos para a sua edificação e as salas de espectáculos e cinemas têm de cumprir as exigências mínimas agora definidas, para evitar que apenas posteriormente se recorra a correcções acústicas.

Relativamente aos edifícios em processo de reabilitação situados em zonas históricas é introduzido um desagravamento dos requisitos exigíveis de modo a facilitar a manutenção da “identidade patrimonial e histórica”

Outra das alterações introduzidas prende-se com a actualização dos parâmetros de desempenho acústico dos edifícios e dos indicadores do ruído de equipamentos e instalação. Os parâmetros, que até então terminavam com ponderado, passam agora a tomar a indicação de padronizado e a correcção devido às condições da sala receptora, outrora baseada na área de absorção sonora equivalente, passa agora a ser feita com base na influência das condições de reverberação do compartimento receptor.

As necessidades dos edifícios dependem do uso a que se destinam. Assim, o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, RRAE, estipula a divisão dos mesmos nos seguintes tipos:

- a) Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;*
- b) Edifícios comerciais, industriais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;*
- c) Edifícios escolares e similares, e de investigação;*
- d) Edifícios hospitalares e similares;*
- e) Recintos desportivos;*
- f) Estações de transporte de passageiros;*
- g) Auditórios e salas.*

Os parâmetros avaliados prendem-se com o isolamento sonoro a sons de condução aérea, isolamento sonoro a sons de percussão, níveis de avaliação e absorção sonora.

2.5.2.2 Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras

Esta categoria engloba todos os edifícios que se destinam, quer de forma exclusiva, a uso habitacional, quer se destinem, a par deste uso, a comércio, indústria, serviços ou diversão. Com a revisão que entra em vigor a 1 de Julho de 2008, são também contempladas as unidades hoteleiras.

Entende-se importante salientar os parâmetros de desempenho e os respectivos valores regulamentares a satisfazer visto o trabalho ter como objectivo a caracterização acústica de um bloco que se pretende vir a aplicar em edifícios habitacionais. Desta forma é essencial conhecer as exigências que são aplicadas ao bloco em estudo pois mas para este tipo de edifícios, uma vez que os valores e parâmetros aplicados variam consoante o tipo de utilização que o edifício era ter.

No quadro 1 estão esquematizados os parâmetros aplicados e os respectivos valores regulamentares já de acordo com o Decreto-Lei nº 96/2008.

Quadro 1 – Parâmetros aplicáveis a edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras [13]

Locais	Parâmetro Avaliado	Valor Regulamentar (dB)	Situação
Entre exterior e quartos ou zonas de estar dos fogos	$D_{2m,n,T,w}$	≥ 33	Zonas mistas
		≥ 28	Zonas sensíveis
Compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo	$D_{nT,w}$	≥ 50	
Entre locais de circulação comum do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos	$D_{nT,w}$	≥ 48	
		≥ 40	Se o local emissor for um caminho de circulação vertical, em edifícios servidos por ascensores
		≥ 50	Se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel
Locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos	$D_{nT,w}$	≥ 58	
Interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos	$L'_{nT,w}$	≤ 60	Percussão normalizada sobre pavimentos de outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício
		Não se aplica	Percussão normalizada em caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores
		≤ 50	Percussão normalizada sobre pavimentos de locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão
	$L_{Ar,nT}$	≤ 32 [dB(A)]	Funcionamento intermitente
		≤ 27 [dB(A)]	Funcionamento contínuo
		≤ 40 [dB(A)]	Grupo gerador eléctrico de emergência

3

NOÇÕES GERAIS

3.1 INTRODUÇÃO

Acústica é o ramo da ciência que estuda o som e a sua forma de propagação. São muitos os factores que condicionam a sua transmissão.

Tratando a acústica do estudo do som, importa conhecer as os fenómenos que estão na origem da propagação, bem como os aspectos mais relevantes que lhe estão associados.

O presente capítulo, tem como intuito abordar as noções gerais que permitam uma melhor compreensão do tema e do trabalho realizado.

O ruído causador de incomodidade e outros sintomas atrás referidos pode, e deve, ser atenuado. No entanto, dependendo do significado que tenha, ou do local onde é produzido o ruído, pode proceder-se de duas formas distintas:

- Correção acústica, quando se pretende corrigir um compartimento para o som que é aí emitido, nos casos em que a qualidade do som seja uma questão imperativa, como auditórios, estúdios de gravação, salas de concertos, etc.;
- Isolamento sonoro, quando o objectivo é o tratamento de um compartimento para sons de locais contíguos.

3.2 ISOLAMENTO SONORO

O isolamento sonoro, tal como indica a palavra, implica isolar, ou seja, conjugar algumas disposições que permitam reduzir as transmissões de energia vibratória nos locais que devam ser protegidos.

A necessidade de isolamento pode ser devida a dois tipos de ruídos:

- Ruídos de percussão, sempre que há solicitação mecânica directa da fonte sobre os elementos de construção;
- Ruídos de condução aérea, se a vibração do ar for o único meio de transmissão.

3.2.1 REDUÇÃO SONORA, R

Para determinar este parâmetro é necessário conhecer, primeiramente, a intensidade do som transmitido através da parede de separação e a intensidade do som incidente na parede. A razão entre estas energias é denominada coeficiente de transmissão, τ [14]:

$$\tau = \frac{I_{transmitida}}{I_{incidente}} \quad (3.1)$$

A redução sonora, R, caracterizadora do isolamento sonoro de ruídos de condução aérea, é obtida através do inverso do coeficiente de transmissão, como se pode observar:

$$R = 10 \cdot \log \frac{1}{\tau} \quad (3.2)$$

Esta expressão é válida para paredes homogêneas, sem a consideração de transmissões indirectas e, por isso, medido em laboratório.

Todavia, conhecendo a pressão instalada no compartimento, e para aplicação da expressão (3.1), obtém-se a intensidade através de:

$$I_i = \frac{p_s^2}{4\rho_0 c_0} \quad (3.3)$$

Onde,

I_i - Intensidade sonora incidente (W/m²)

p_s - Pressão sonora (Pa)

$\rho_0 c_0$ - Impedância (≈ 400 rayl)

3.2.2 ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS AÉREOS ENTRE LOCAIS

Para que se sinta a necessidade de recurso a isolamento sonoro é necessária a existência de uma fonte sonora que emita som num determinado local, caracterizado por um nível médio de pressão, L1, e um local onde esteja um receptor, sensível à transmissão feita através da parede. No local receptor é atingido um nível de pressão sonora L2.

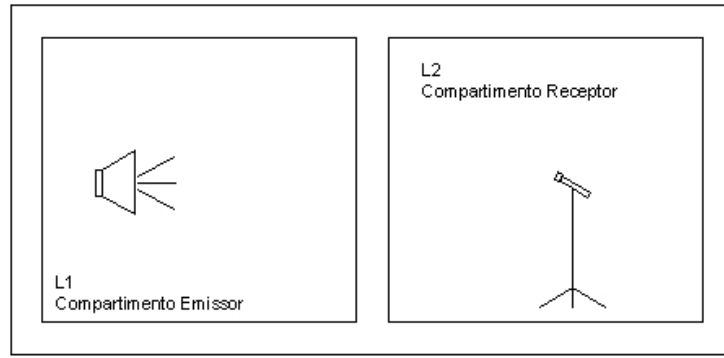


Fig. 5 – Esquema dos compartimentos emissor e receptor

O isolamento sonoro bruto, D (dB), é caracterizado pela diferença entre estes níveis de pressão sonora, na ausência de transmissões marginais:

$$D = L_1 - L_2 \quad (3.4)$$

Os níveis de pressão sonora podem ser relacionados com a redução sonora, tomando alguns pressupostos conforme indica a norma NP EN 140-3, considerando a contribuição da absorção sonora do compartimento receptor:

$$D = L_1 - L_2 = R + 10 \cdot \log\left(\frac{A}{S}\right) \quad (3.5)$$

Onde:

A – área de absorção sonora equivalente existente no local receptor (m^2)

S – superfície do elemento de separação (m^2)

Para as medições *in situ* a expressão anterior sofre uma pequena alteração de forma a incluir a influência das transmissões marginais. No entanto, neste tipo de medições, a parcela conferida pela absorção do compartimento receptor pode apresentar valores muito diferentes dependendo das características do mobiliário e outros objectos que se encontrem presentes na altura da medição. Para que possam ser comparadas medições em locais diferentes, adopta-se uma área de absorção sonora equivalente de referência. Sob estas condições, mede-se o isolamento sonoro normalizado, D_n . A redução sonora *in situ*, R' , relaciona-se com o isolamento sonoro pela expressão seguinte:

$$D_n = R' + 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{S}\right) \quad (3.6)$$

Onde:

A_0 – área de absorção sonora equivalente de referência, 10 m^2

S – superfície do elemento de separação (m^2)

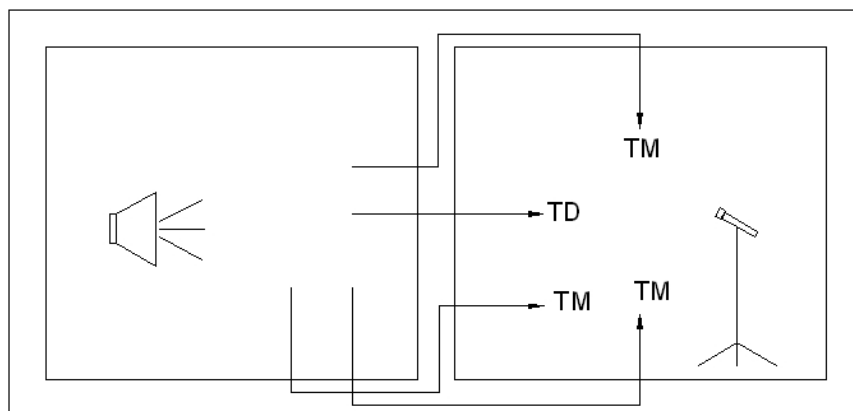


Fig. 6 – Ilustração das transmissões directa e marginais

3.2.3 ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA, R_w

Obtidos os valores de R , para cada banda de frequências, é feito um ajuste, segundo o estipulado pela norma NP EN ISO 717-7, de tal forma que o resultado final é um único valor que caracteriza o elemento, o índice de redução sonora [1].

Os valores obtidos em ensaio são comparados com valores de referência na gama das frequências de medição, preferencialmente em bandas de terço de oitava.

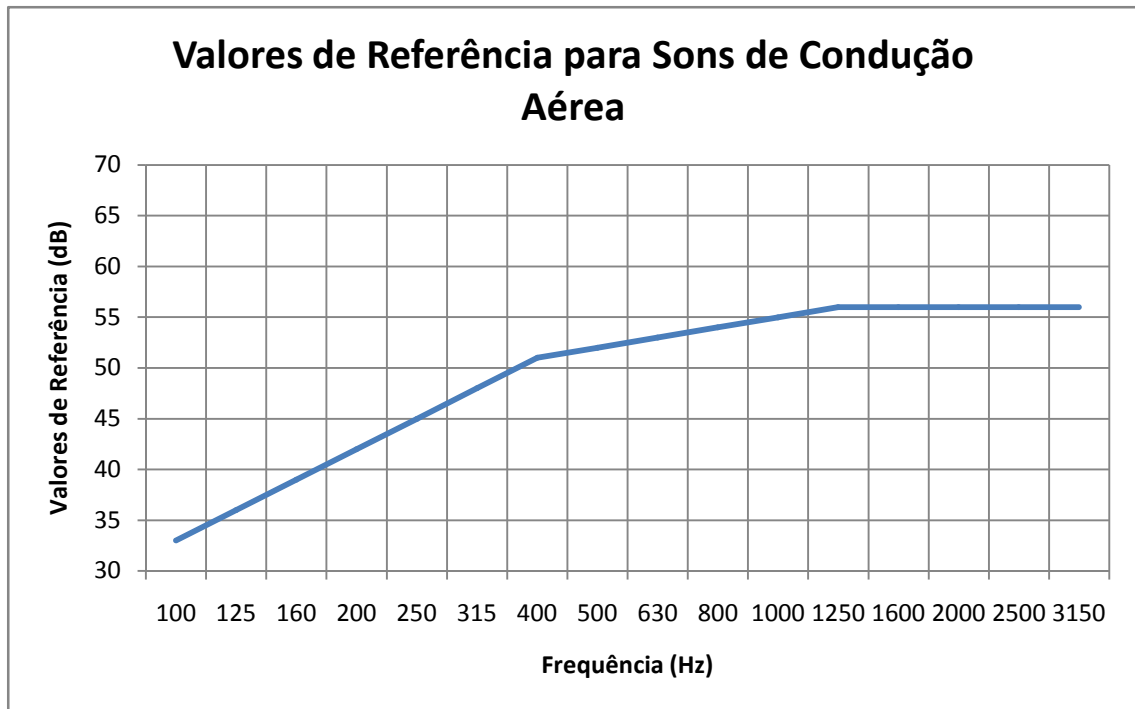


Fig. 7 – Valores de referência para sons de condução aérea, segundo norma NP EN ISO 717-1

A curva de referência vai sendo ajustada, sofrendo translações na vertical, até que o somatório dos desvios entre os valores da curva e os valores de R, não seja superior a 32, mas o mais próximo possível. Só são consideradas as diferenças positivas entre a curva de referência e os valores da redução sonora, ou seja, quando a curva de referência está acima da curva obtida em câmara reverberante. O resultado final é obtido pelo valor da ordenada da curva ajustada para a frequência de 500 Hz.

Este índice é útil na medida em que, através de um procedimento padrão, é estabelecido um valor que caracteriza o desempenho de determinado elemento face a ruídos de condução aérea. Pode-se assim comparar, de modo simples, desempenhos entre elementos. No entanto, esta prática, para abordagens mais exactas, não é a mais adequada pois não esclarece o comportamento em função da frequência.

A legislação limita inferiormente o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos interiores através do parâmetro $D_{n,w}$.

$$D_{n,w} = R_w' + 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{S}\right) \quad (3.7)$$

Trata-se de um parâmetro obtido *in situ*, pelo que a contribuição das transmissões marginais, ao contrário dos ensaios realizados em câmara reverberante, é quantificada. Assim, tirando partido do índice de redução sonora, o valor de $D_{n,w}$ pode ser determinado se conhecidos os elementos envolventes da parede (para conhecer o efeito das transmissões marginais) e a área do elemento de separação.

Em regra, as superfícies de separação são muito semelhantes, próximas de 10 m^2 e o efeito das transmissões marginais gera uma redução de cerca de 3 dB [1]. Nestas situações, pode prever-se o comportamento do elemento *in situ* através de:

$$D_{n,w} \approx R_w - 3 \quad (3.8)$$

3.2.4 TRANSMISSÃO DE SOM ATRAVÉS DE PAREDES SIMPLES

A análise da transmissão de som através dos elementos construtivos não deve ser feita de forma simplista. Há diversos factores que influenciam a energia sonora transmitida, sendo que a massa de um elemento construtivo tem uma contribuição fundamental.

De uma maneira geral, o isolamento conferido por uma parede simples aumenta com a massa, mas depende ainda do ângulo de incidência das ondas sonoras, da elasticidade do material, das perdas de energia, das paredes adjacentes, da permeabilidade, de espaços de ar, frequência do som, frequência crítica, frequências próprias, rigidez, etc.

O isolamento de uma parede é tanto maior quanto maior a frequência incidente, mas o modelo de comportamento da parede pode ser descrito, em função da frequência, como um sistema sujeito a um estímulo oscilatório e dividido em cinco zonas diferentes:

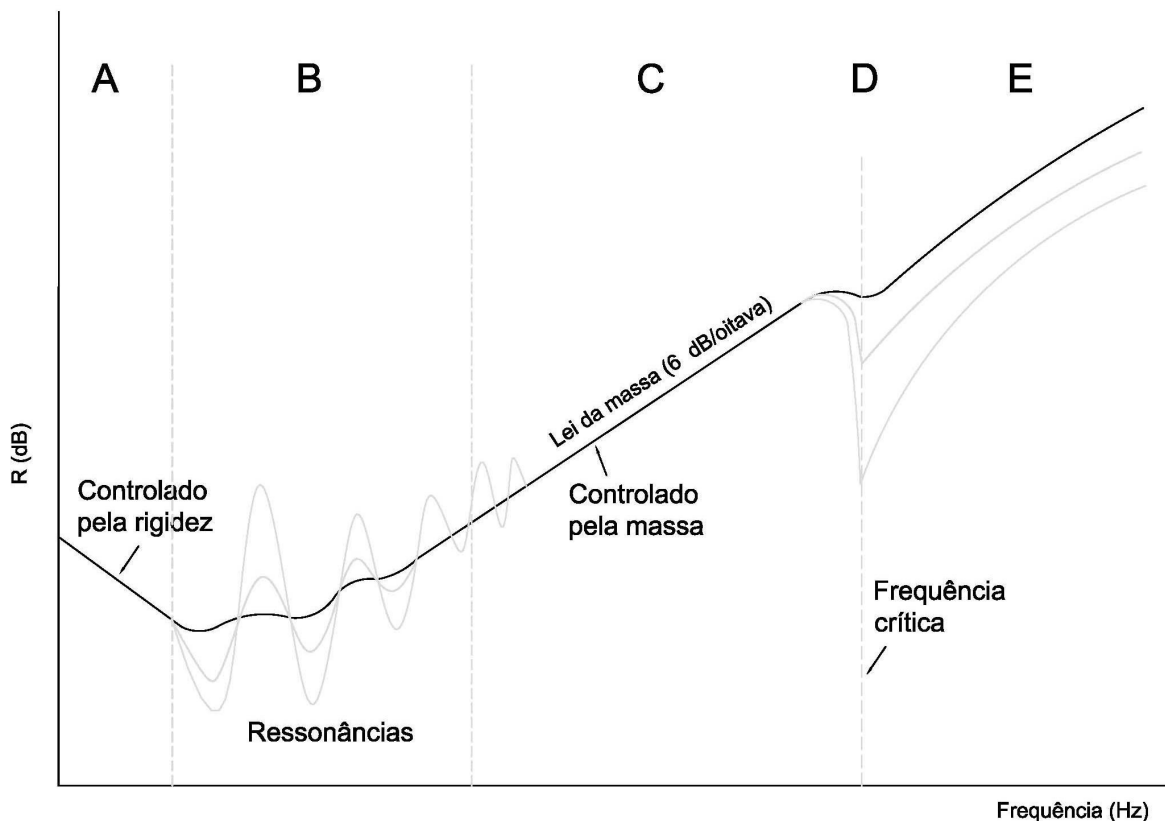


Fig. 8 – Comportamento de parede simples em função da frequência (adaptado de [15])

Zona A

O sistema vibrante é governado pela rigidez. O coeficiente de rigidez da parede, k , pode ser descrito como o valor que exerce uma força de pressão, F , sobre a parede e provoca o deslocamento x desse elemento [16].

$$k = \frac{F}{x} (N / m) \quad (3.9)$$

A redução sonora conferida por determinado elemento é função do quociente entre a rigidez desse elemento e a pulsação do estímulo sonoro.

A pulsação de uma onda sonora, w , é um coeficiente dinâmico, dado por:

$$w = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (3.10)$$

A resistência à onda de pressão diminui com a frequência. Como a redução sonora fornecida pelo elemento é função da rigidez, também este indicador diminui com o aumento da frequência.

Esta zona está, normalmente, fora da gama de frequências audíveis, não sendo, portanto, elemento de estudo minucioso.

Zona B

A parede vibra como uma placa de dimensões finitas, de diversos modos próprios de vibração transversal. Alguns modos próprios são mais facilmente postos em acção enquanto outros provocam uma redução sonora ínfima. Os modos próprios levam a que a parede entre em ressonância. O comportamento da redução sonora nesta zona da curva é governado pelas frequências próprias de vibração, que dependem de vários factores:

- massa específica da parede (kg/m^3)
- módulo de elasticidade (Pa)
- espessura da parede (m)
- dimensão da parede (m)
- modo de ligação da parede com outros elementos construtivos

As expressões de cálculo da frequência de ressonância dividem-se ao considerar o tipo de apoio:

Quando simplesmente apoiadas:

$$f_{res} = 0.453 \cdot h \sqrt{\frac{E}{\rho(1-v^2)}} \cdot \left[\left(\frac{n}{x} \right)^2 + \left(\frac{m}{y} \right)^2 \right] \quad (3.11)$$

Se encastradas no contorno:

$$f_{res} = 0.453 \cdot h \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)} \cdot \left[\left(\frac{n}{x} \right)^2 + \left(\frac{m}{y} \right)^2 \right]} \quad (3.12)$$

Onde:

f_{res} - frequência de ressonância (Hz);

h – espessura da parede;

E – módulo de elasticidade;

ρ - massa específica;

n e m - números inteiros (muitas são as frequências próprias possíveis, mas as mais baixas são as mais importantes, principalmente quando $n = m = 1$);

x e y – dimensões da parede (m)

Zona C

Nesta zona, frequências superiores às frequências de ressonância, a lei da massa governa o comportamento do sistema vibrante, pelo que a redução sonora varia linearmente com a frequência.

A lei da massa depende, além da frequência, da incidência da onda sonora, θ , da massa volúmica do ar e da celeridade:

$$R_{\theta} = 20 \cdot \log \left(\frac{\pi \cdot m \cdot f \cdot \cos \theta}{\rho_0 \cdot c} \right) = 20 \cdot \log(m \cdot f) + 20 \cdot \log \left(\frac{\pi \cdot \cos \theta}{\rho_0 \cdot c} \right) \quad (3.13)$$

Onde:

m – massa superficial do elemento (kg/m^2);

f - frequência do estímulo sonoro (Hz);

ρ_0 - massa volúmica do ar (kg/m^3);

c - celeridade.

Para campo difuso, a lei da massa vem:

$$R = 20 \cdot \log(m \cdot f) - 47 \quad (3.14)$$

Duplicando o valor da massa o isolamento aumenta 6 dB. Constatase que nesta zona, frequências medidas entre 100 Hz e 3000 Hz, a curva de isolamento aumenta 6 dB por oitava.

Zona D

A zona D corresponde à frequência crítica. A frequência crítica designa a coincidência entre o estímulo sonoro e a vibração próprio da parede. Neste caso, o comprimento de onda, λ , que incide na parede tem uma projecção no plano da parede coincidente com o comprimento de onda da frequência de onda longitudinal das ondas de flexão da parede, λ_B , como indicado na figura 9.

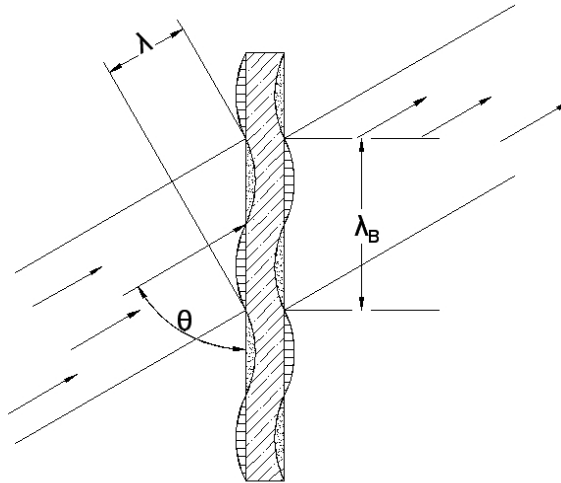


Fig. 9 – Frequência crítica

Nesta frequência as ondas incidentes passam facilmente através do elemento, registando uma quebra acentuada do isolamento sonoro conferido pela parede. A frequência crítica, f_c depende da elasticidade, massa e espessura da parede e da velocidade do som no ar [14]:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \quad (3.15)$$

Em que:

c – velocidade do som no ar (m/s);

m – massa por unidade de superfície (kg/m^2);

B – módulo de rigidez à flexão ($\text{kg.m}^2/\text{s}^2$) [14];

$$B = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (3.16)$$

E – módulo de elasticidade;

h – espessura (m);

ν – coeficiente de Poisson

De uma forma mais simplificada a frequência crítica pode ser obtida por [1]:

$$f_c = \frac{c^2}{1,8 \cdot c_L \cdot h} \quad (3.17)$$

Onde,

f_c - Frequência crítica (Hz)

c - Celeridade (m/s)

c_L - Velocidade de propagação das ondas longitudinais no material (m/s)

h - Espessura do material (m)

O cálculo da velocidade de propagação das ondas longitudinais pode também ser efectuado, por intermédio da expressão (3.18) [1]

$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}} \approx \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3.18)$$

Em que,

ρ - massa volúmica (kg/m^3)

ν - coeficiente de Poisson

Zona E

Nesta zona, as frequências são superiores à frequência crítica, uma parte da energia sonora é transmitida à parede mas uma outra parte perde-se pelo amortecimento da estrutura que será tanto maior quanto maior o factor de perdas. O isolamento sonoro pode ser avaliado pela seguinte relação:

$$R = 20 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot m \cdot f}{\rho_0 \cdot c}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{f}{f_c}\right) + 10 \cdot \log \eta - 2 \quad (3.19)$$

Onde:

m – massa superficial do elemento (kg/m^2);

f - frequência do estímulo sonoro (Hz);

ρ_0 - massa volúmica do ar (kg/m^3);

c - celeridade;

f_c - frequência crítica;

η - factor de perdas.

Regista-se um aumento médio da redução sonora de 9 dB por oitava para frequências superiores à crítica.

Fazendo uma análise global do comportamento da redução sonora em função da frequência do estímulo sonoro, verifica-se que ocorre uma diminuição de R com a frequência, sendo esta fora da gama audível não sendo muito relevante. Quando a redução sonora é controlada pela ressonância tem um comportamento muito variável, com oscilações entre máximos e mínimos. Na zona seguinte, regida pela massa, regista-se um comportamento linear, aumentando com a frequência cerca de 6 dB por oitava. Quando a frequência iguala a frequência crítica regista-se um decaimento da redução sonora, sendo este aspecto o mais problemático na zona de frequências médias. Nos casos em que a frequência seja superior à crítica, verifica-se um aumento de cerca de 9 dB por oitava.

3.2.5 PAREDES DUPLAS

O aumento da massa de paredes, e outros elementos construtivos, só é aceitável, do ponto de vista económico e funcional, até determinados limites, cerca de 500 kg/m^2 , deixando ainda de ter a eficácia que demonstra para valores inferiores. Como solução surge a duplicação de paramentos.

As paredes duplas, apesar de apresentarem uma massa superficial total inferior à massa superficial de paredes simples, podem atingir valores de isolamento superior se forem convenientemente dimensionados.

Supondo que os dois paramentos que compõem a parede dupla são rígidos, indeformáveis e não são ligados entre eles a não ser pelo ar que os separa, o isolamento sonoro obtido pode variar conforme o afastamento dos elementos, entre 6 dB, se a massa for duplicada sem caixa de ar, e a soma das reduções sonoras de cada um dos elementos, situação limite.

A parede dupla comporta-se como um conjunto de duas massas, m_1 e m_2 , que estão ligadas por uma mola de rigidez k , correspondente à rigidez do ar, se houver uma caixa de ar a separar os elementos.

Também este sistema tem uma frequência de ressonância, f_0 , de todo o conjunto, quando vibra como um único elemento. Os modelos de cálculo que descrevem o comportamento destes elementos diferenciam-se consoante a frequência. Os dois valores fundamentais da frequência, frequência de ressonância e frequência de coincidência, são descritos por:

- Frequência de ressonância, do conjunto [16]:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} = K \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \text{ (para incidência normal)} \quad (3.20)$$

Onde:

c - celeridade;

ρ - massa específica;

d - espessura da caixa de ar;

K – rigidez da caixa de ar (toma valores diferentes conforme a caixa de ar esteja vazia ou totalmente preenchida com material absorvente sonoro)

m_1 e m_2 - massas superficiais dos elementos que formam a parede dupla (kg/m^2)

- Frequência de coincidência, de cada pano de parede, cujo cálculo foi já explanado anteriormente.

- Ressonâncias de cavidade, para outras frequências, geralmente as altas, podem produzir-se ressonâncias que provocam mínimos de redução sonora para a parede dupla. Estas ressonâncias de cavidade têm origem na criação de modos estacionários com múltiplos de meios comprimentos de onda na caixa de ar:

$$f_{rc} = \frac{c \cdot n}{2d} \quad (3.21)$$

Onde:

f_{rc} - frequências de cavidade (Hz)

c - celeridade (m/s);

n - números inteiros sucessivos;

d - espessura da caixa de ar (m).

Adoptando material absorvente sonoro para colocação na caixa de ar, as ressonâncias de cavidade podem ser atenuadas até cerca de 4 dB. É, portanto, recomendável a aplicação de material absorvente na caixa de ar. Com esta medida, as ressonâncias de cavidade não são muito notadas.

Segundo Crocker, a colocação de material absorvente sonoro na caixa de ar faz baixar o valor da frequência a que se verifica o fenómeno de ressonância.

O verdadeiro interesse do recurso a paredes duplas manifesta-se para frequências superiores à frequência de ressonância. Até este ponto, a parede comporta-se de forma semelhante a uma parede simples de massa igual à massa total do sistema. A partir da frequência de ressonância verifica-se que a redução sonora de paredes duplas é da ordem de 18 dB por oitava enquanto as paredes simples apresentam reduções de 9 dB se situadas na zona E, ou de 6 dB se regidas pela lei da massa.

Ao escolher os elementos da parede, o espaço que os separa e os dispositivos elásticos que os ligam para que a frequência de ressonância seja inferior à gama de frequências que se deseja proteger.

Para que a frequência de ressonância seja a mais baixa possível, e assim se verifique a eficácia da parede dupla comparativamente com parede simples, aumenta-se a espessura da caixa de ar.

Ao usar panos de parede com espessuras distintas as frequências de coincidência não são iguais. Em elementos leves ou de pequena espessura não é aconselhável que os paramentos tenham espessuras iguais.

3.2.6. ISOLAMENTO SONORO EM PAREDES DUPLAS

Se os dois paramentos estiverem afastados um do outro sendo o único meio de contacto entre eles o ar que os separa, a resposta da redução sonora face à frequência pode ser calculado com base nas expressões que se seguem:

Para frequências menores que f_0 e até cerca de $2/3$ de f_0 a parede comporta-se como uma parede simples com massa m igual à soma das massas dos dois paramentos (m_1+m_2) [1]:

$$R = 20 \cdot \log[(m_1 + m_2) \cdot f] - 47 \quad (3.22)$$

Para frequências próximas de f_0 o comportamento da parede é limitado pelo efeito de ressonância no interior desta, Assim, a redução sonora, R , obtida pela forma anterior sofre uma redução de d' [1]:

$$d' = -9.45 \cdot \log \eta_a + 33.7 \quad (3.23)$$

Em que:

η_a - factor de perdas do material absorvente colocado na caixa de ar (%)

Para frequências superiores a f_0 mas inferiores a f_1 o valor de R é ditado pela expressão que se segue:

$$R = R_1 + R_2 + 20 \cdot \log(f \cdot d) - 29 \quad (3.24)$$

Onde:

R_1 e R_2 - redução sonora de cada pano isolado (dB);

d - espessura da caixa de ar (m);

$f_1 = \frac{c}{2\pi d}$, primeira ressonância do sistema.

Para frequências superiores a f_1 o valor da redução sonora é obtido por:

$$R = R_1 + R_2 \quad (3.25)$$

Para que a expressão 3.25 fosse verificada na prática era necessário que os panos de paredes não estivessem interligados de forma alguma. Tal procedimento é bastante complexo. Quanto mais rígida for a ligação entre paramentos, menor será a redução sonora.

A ligação ao contorno existente nas paredes duplas condiciona a aplicação destas expressões de cálculo. Para atender às situações reais, deve recorrer-se a modelos de cálculo que tenham tido por base um grande número de ensaios laboratoriais e adequados a cada caso, como os referidos no capítulo 6.

4

ABORDAGEM DAS TECNOLOGIAS DE CONSTRUÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

Inicia-se este capítulo com algumas considerações sobre a prefabricação e os princípios que lhe são associados, uma vez que o objecto em estudo é um bloco que se pode encarar como um elemento prefabricado.

O conjunto de características a que deve obedecer um elemento depende da sua função. Enumeram-se as disposições mais importantes que se devem observar para que haja compatibilização das exigências dos utentes com a função dos elementos.

O domínio das tecnologias da construção, a par de trabalhadores qualificados, é de extrema importância para a correcta aplicação dos materiais. A elevação de paredes de blocos de betão não foge ao caso. Como tal, é feita uma descrição sintética dos cuidados e procedimentos a observar quando se recorre a este tipo de unidades.

4.2 PREFABRICAÇÃO

Em relação às tecnologias de construção prevê-se que, no futuro, haja o desenvolvimento da industrialização de tal forma que a produção em série ou as pré-montagens permitam reduzir os custos de produção. A distribuição da quantidade de trabalhos expectáveis no futuro em fábrica, estaleiro e escritório estão representados na figura 9 onde é ainda possível observar a evolução dessa distribuição.

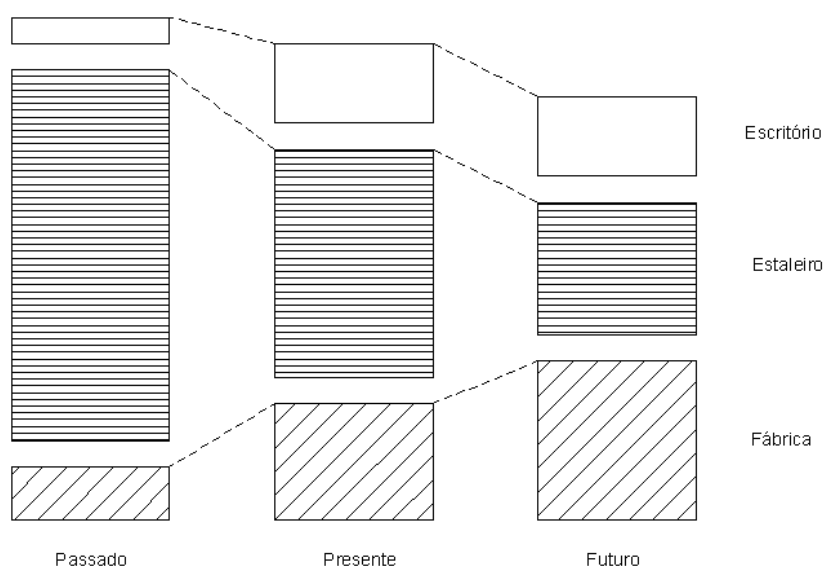


Fig. 10 – Distribuição dos trabalhos em fábrica, estaleiro e escritório

Segundo Teixeira Trigo a prefabricação é “um conjunto de técnicas de construção que se baseiam na produção de elementos de construção fora dos seus locais de implantação definitivos e montados em obra” [17].

Da prefabricação, que pode ser tida como uma espécie de fabricação em série, são esperados alguns resultados que introduzam melhorias ao nível da construção. Os elementos prefabricados devem ser de fácil manuseamento, leves e permitir a montagem em obra por equipas de dois homens. O esforço físico desenvolvido deve ser inferior ao necessário na execução das soluções de construção tradicional.

Como principais vantagens da opção pela construção de painéis prefabricados tem-se a redução do tempo de realização da obra, a diminuição da necessidade do número de trabalhadores qualificados, uma maior garantia de qualidade e a redução de custos. Ao garantir-se uma redução do tempo de realização da obra, necessidades de limpeza e custos de mão-de-obra, pressupõe-se que estes ganhos compensem e excedam os custos relacionados com a utilização de componentes prefabricados.

Além dos benefícios já referidos, o recurso à prefabricação pode ser muito vantajoso em situações onde a componente climática seja um factor preponderante e a opção por elementos prefabricados altere esta condição.

Note-se ainda que aliado à diminuição do tempo de execução da obra, verifica-se uma antecipação da ocupação do edifício ou a venda do mesmo, resultando pois em benefícios financeiros.

No caso de elementos prefabricados para alvenaria é possível prever ainda a redução de custos com o aluguer de andaimes.

4.3 EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

As exigências funcionais podem entender-se como as funções que um edifício deve realizar de forma a satisfazer as necessidades dos utentes. Variam conforme o tipo de elemento que se está a analisar (parede, pavimento, ...), a localização (interior ou exterior) e função (resistente, de compartimentação, ...) desse mesmo elemento.

As paredes de edifícios podem ser divididas entre interiores e exteriores. As interiores, por sua vez, podem ter diferentes denominações dependendo da função a que se destinam. Assim, podem tomar a designação de paredes divisórias, tabiques de armários ou coretes, paredes de travamento, paredes resistentes em betão armado para caixas de elevador e paredes de separação entre fogos [18].

No caso de paredes exteriores, a importância de factores como estanquidade à água ou segurança contra a intrusão é maior quando comparada a uma simples parede divisória. Quando as paredes divisórias separam fogos adjacentes as exigências que lhe são aplicadas diferem das prescritas às paredes exteriores ou divisórias, sendo primordial o seu desempenho acústico.

As várias exigências podem ser agrupadas em cinco grupos: segurança, estanquidade, conforto, durabilidade, manutenção e limpeza e economia [17].

4.3.1 SEGURANÇA

- Estabilidade

É uma das principais exigências de paredes exteriores. Estão compreendidas as acções de gradientes de pressão do vento, bater de portas, apoio de uma fila de pessoas obre a parede e choques acidentais de pessoas, objectos, etc. As paredes interiores não resistentes devem suportar, sem esmagar, cargas induzidas pelas ombreiras ou qualquer tipo de cargas concentradas próprias das paredes.

- Segurança contra riscos de incêndio

Em caso de incêndio as paredes devem apresentar um período mínimo no qual garantam a estabilidade dos elementos resistentes, limitar a propagação do fogo, permitir a evacuação dos utentes do edifício e permitir a intervenção das equipas de socorro em segurança.

O período mínimo que as paredes devem aguentar sem perder as suas características iniciais depende da altura do edifício e do tipo de compartimento separado pela parede.

Quadro 2 – Exigências de segurança contra riscos de incêndio

Tipo de compartimentos separados pela parede	Altura do edifício, H (m)		
	$H \leq 9$	$9 \leq H \leq 28$	$28 \leq H \leq 60$
Habitação/habitação	CF 60	CF 60	CF 60
Hab/circulação horizontal comum	CF 30	CF 30	CF 60
Hab/escada comum	CF 60	CF 60	CF 90

- Segurança na utilização

Para maior segurança na utilização, ou seja, para que os utentes não corram riscos inaceitáveis de acidente, a parede deve ser pensada e construída de modo a evitar colisões, queimaduras ou electrocussão (devido à incorporação de instalações na parede). A existência de saliências ou texturas muito rugosas são também factores propícios à ocorrência de acidentes.

- Segurança contra a intrusão

A parede deve ter robustez suficiente para impedir que tanto pessoas como animais penetrem facilmente no interior da habitação.

4.3.2 ESTANQUIDADE

- Estanquidade à água

Em paredes interiores a exigência de estanquidade à água da chuva não tem relevância. No entanto, paredes que separem locais húmidos como a cozinha, instalações sanitárias ou lavandarias, por estarem submetidas a projecção de água devem ser estanques à água.

- Estanquidade ao ar

As paredes interiores deverão ser praticamente estanques ao ar .

4.3.3 CONFORTO

- Conforto térmico e poupança de energia

As paredes de separação entre fogos distintos podem estar sujeitas a diferentes temperaturas. Para reduzir o consumo de energia e o desconforto causado pelos fluxos térmicos a parede deve ter isolamento térmico apropriado.

- Pureza do ar

Os materiais e métodos empregues na construção de uma parede devem ter características que não constituam perigo para a saúde dos utentes quando esta entre em serviço. Os perigos podem resultar da emissão de gases tóxicos, presença de partículas ou radiações perigosas, desenvolvimento de fungos, etc.

- Conforto acústico

As paredes interiores deverão contribuir para o isolamento acústico da envolvente e garantir um isolamento a sons aéreos que respeite o estabelecido no regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios. Os limites exigidos variam com o tipo de utilização do edifício e o tipo de local.

- Higiene

Completa a exigência de pureza do ar. Estabelece os princípios de facilidade de limpeza e conservação das paredes, a não fixação de poeiras ou microrganismos e a não alteração dos revestimentos devido a fumos (provenientes de actividade culinárias ou cigarros).

- Conforto visual

O resultado final da parede deve ser agradável à vista. Este resultado é conferido pelo acabamento do revestimento que deve ser plano e vertical sem defeitos de superfície. Defeitos de homogeneidade de cor ou brilho não devem ser notados.

- Conforto tátil

Os paramentos acessíveis não devem ser pegajosos nem apresentar discontinuidades que sejam incómodos para os utentes.

4.3.4 DURABILIDADE, MANUTENÇÃO E LIMPEZA

- Facilidade de limpeza e manutenção

A limpeza do revestimento deve poder ser feita com produtos que não sejam dispendiosos e cuja obtenção no mercado seja relativamente simples. Esta operação deve ser fácil para que o revestimento possa manter aspecto próximo do que apresentava enquanto novo.

- Adaptação à utilização normal

A parede deve estar preparada para receber cargas verticais suspensas (lavatórios, estantes, ...), permitir a incorporação de instalações eléctricas, abastecimento de água e saneamento, aquecimento, ventilação, ou quaisquer outras necessárias ao bom funcionamento do edifício.

- Durabilidade

É expectável que, executadas as operações de manutenção estabelecidas pelo projectista ou fabricante, a parede conserve as características de desempenho iniciais e que os seus acabamentos sem mantenham sem alterações inaceitáveis durante um período normalmente não inferior a 30 anos.

4.3.5 FACILIDADE DE TRANSPORTE E MONTAGEM/DESMONTAGEM

Os elementos necessários à construção de uma parede devem ter dimensões e massa compatíveis com o percurso de transporte desde o local de armazenamento até ao local de aplicação. Os rendimentos de colocação e montagem devem ser tais que estejam dentro do universalmente aceite como razoáveis.

4.3.6 ECONOMIA

A escolha de determinada solução deve considerar as implicações económicas ao nível dos custos de materiais e processos de aplicação, custos de manutenção. Se possível, a solução escolhida deve ser aquela que obtenha um bom desempenho reduzindo o custo.

4.4 CONSIDERAÇÕES TECNOLÓGICAS

Até ao século XX as tecnologias de construção não sofreram grandes alterações, estando as evoluções registadas intimamente ligadas com as matérias-primas disponíveis [19].

Nos anos 50 regista-se uma nova tendência na construção: o abandono de parede simples e a introdução de dois panos de parede. Observa-se posteriormente uma progressiva especialização dos processos construtivos e das técnicas de aplicação dos materiais [20].

A multiplicidade de materiais e técnicas construtiva que se regista hoje em dia obriga a uma maior especialização por parte de todos os intervenientes na construção.

Na figura 11 ilustra-se a evolução dos materiais e métodos empregues na construção de paredes.

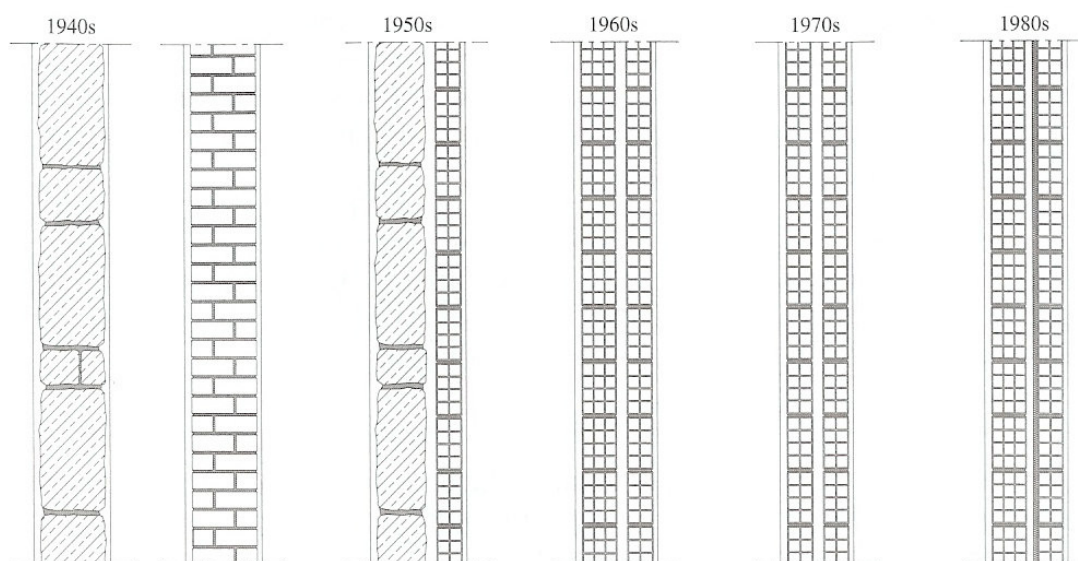


Fig. 11 – Evolução do tipo de parede empregue em edifícios [19]

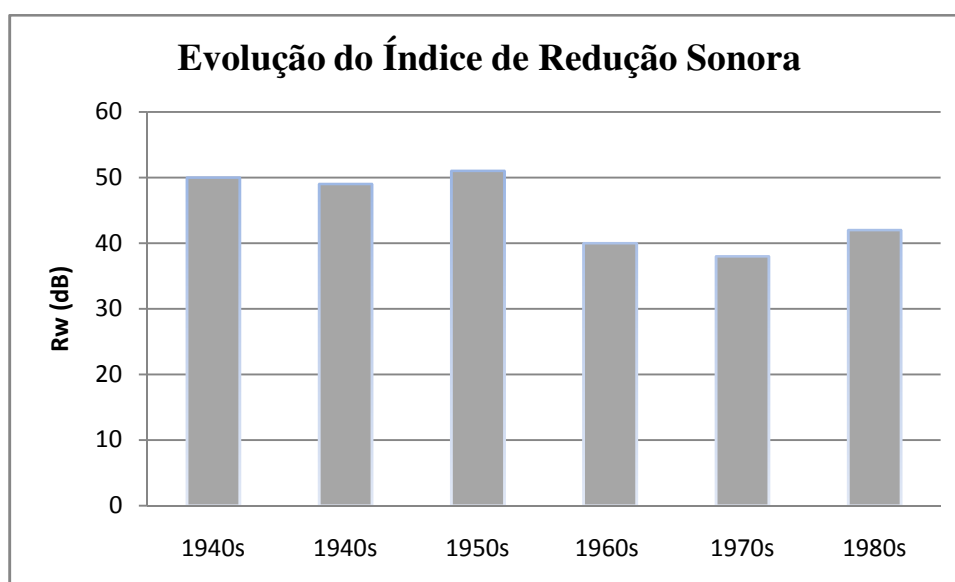


Fig. 12 – Evolução do Índice de Redução Sonora com a alteração da configuração das paredes

Na figura 12 esquematiza-se o índice de redução sonora típico para cada uma das soluções apresentadas na figura 11. Os valores apresentados dependem substancialmente da espessura do pano, no entanto, ajudam a sensibilizar para a não inclusão do conforto acústico, durante longos anos, nas preocupações de concepção de elementos destinados a edifícios habitacionais. Observa-se que com a introdução de dois panos de parede com separação por caixa de ar (1950s) houve um ligeiro aumento da redução sonora. No entanto, a opção por dois panos de parede de tijolo vazado (1960s) fez diminuir, consideravelmente a redução sonora. O decréscimo no isolamento sonoro conferido pelos elementos nas décadas de 60 e 70 foi tal que se sentiu a necessidade de melhorar o desempenho dos elementos, surgindo a colocação de material isolante, ocupando parcialmente a caixa de ar (1980s).

Para o funcionamento correcto de uma parede é fundamental que a execução da mesma obedeça a alguns parâmetros. Ao descuidar algum destes parâmetros o desempenho da parede poderá não ser o desejado, o que, nos casos mais graves, poderá levar à demolição e necessidade de reconstrução. Verifica-se pois que a prestação dos elementos construtivos não depende apenas da solução escolhida ou da qualidade dos materiais. O rigor aplicado no momento da construção associado a práticas correctas são decisivos para um resultado final tão bom quanto o desejado.

4.4.1 REGRAS DE EXECUÇÃO DE PAREDES DE ALVENARIA DE BLOCOS DE BETÃO [21]

4.4.1.1 Armazenamento dos blocos de betão

Devem ser armazenados em local limpo e abrigado, sem contactar com humidade do solo. Deve ser garantido um período mínimo entre o fabrico dos blocos e a sua aplicação, para que possam completar a cura, aumentar a resistência e estabilizar as dimensões [22].

4.4.1.2 Trabalhos preparatórios

Antes do avanço da execução dos trabalhos, deve proceder-se à colocação de todos os elementos de protecção necessários para esse tipo de parede.

4.4.1.3 Protecção para tempo seco e quente e para tempo frio

Quando a temperatura é muito elevada e/ou o tempo está seco, deve haver o cuidado de proteger a argamassa da dessecação através de processos tais como regas ligeiras e frequentes, colocação de esteiras ou recurso a toldos mantidos húmidos. Para tempo frio (temperatura inferiores a 5°C), as precauções devem ser tomadas no sentido de evitar a formação de gelo. As partes do trabalho acidentalmente geladas devem ser demolidas até à parte boa.

4.4.1.4 Interrupção e retoma dos trabalhos

A montagem da alvenaria deve ser executada de forma que a estabilidade seja garantida no decurso da construção. No caso particular, a montagem não deve ser interrompida durante um plano vertical contínuo, excepto em juntas de dilatação ou fraccionamento; em caso de interrupção da montagem, a argamassa não deve ser espalhada em avanço. A superfície de retoma deve permitir realizar as ligações de aparelhamento; devem ser, se necessário, limpas, restauradas e humidificadas no momento da retoma da montagem. A humidificação pode ser substituída por aplicação de um produto melhorador de aderência.

4.4.1.5 Marcação de cota de referência

Para uma maior facilidade de ajuste da cota final de acabamento dos pavimentos, antes de se erguer as paredes interiores deve-se fazer a marcação de uma cota de referência nas faces de todos os pilares do piso. Este procedimento é bastante importante para que, no final, a cota de pavimento de um apartamento fique superior ao das varandas e dos patamares de escada e para que entre dois pisos os degraus sejam todos iguais [23].

4.4.1.6 Humidificação dos blocos

Exceptuando o caso dos blocos aparentes, os blocos devem ser, se necessário, humedecidos no momento da colocação e enxutos [21]. No entanto, segundo [22] tal prática não deve ser realizada, em particular para os blocos de betão.

Este procedimento tem o propósito de evitar a rápida absorção da água da argamassa de assentamento e da dessecação prematura. No entanto, deve ser efectuado com alguma cautela, para ter em atenção o contributo da humidade que pode conduzir a variações dimensionais. O emprego de argamassa adicionada de retentor de água permite reduzir esta humidificação prévia.

4.4.1.7 Implantação

Em todo o piso é executada a primeira fiada de tijolos e, de seguida, são colocados os prumos metálicos para assegurar o alinhamento da parede. A colocação do primeiro tijolo da fiada é seguida pela verificação do alinhamento. Coloca-se uma linha presa ao primeiro tijolo para a orientação dos tijolos seguintes. Com a colher de pedreiro faz-se um batimento nos blocos para corrigir o alinhamento e limpa-se a argamassa em excesso.

Depois de executada a primeira fiada, há que ter em conta o desfasamento a dar entre fiadas. O desfasamento das juntas verticais de uma fiada sobre a outra deve ser entre um terço a metade do comprimento do bloco. Este desfasamento é, preferencialmente, de meio bloco, de forma a facilitar o emprego de meios blocos. Um desfasamento insuficiente compromete a ligação dos blocos entre si. Se o comprimento da parede não corresponder a um número inteiro de blocos, o complemento necessário deve ser efectuado com auxílio de blocos recortados, de preferência de blocos especialmente concebidos para o efeito.

A fiada superior deve ser alinhada ao nível da fiada do pavimento e a altura da parede deve conter um número inteiro de camadas de blocos. Se necessário, o fecho deverá ser efectuado ao nível do pavimento.

4.4.1.8 Juntas

As juntas verticais podem ou não ser preenchidas. Se forem preenchidas, as juntas verticais e horizontais devem ser executadas de tal forma que não haja descontinuidade entre a argamassa destes dois tipos de junta. Quando as juntas verticais não são preenchidas deve analisar-se com mais cuidado a estanquidade ao ar das paredes assim realizadas. Nesses casos, e para um melhor desempenho final, devem limitar-se as flechas das paredes assim como a execução do revestimento deve ser feito o mais tarde possível, sendo indicado um atraso mínimo de um mês. [21] A espessura das juntas, que se pretende uniforme, deve andar entre 10 a 15 mm [21], sendo que [22] aconselha uma espessura máxima de 12 a 13 mm. A espessura de argamassa a aplicar deverá ser superior à pretendida pois, quando os blocos superiores são comprimidos, esta espessura diminui.

4.4.1.9 Reparação de defeitos localizados acidentais

A reparação de fendas, defeitos de enchimento de juntas e outros defeitos acidentais localizados pode ser feita com argamassa que deve ser, dentro da medida do possível, da mesma natureza da dos trabalhos a reparar. A superfície da alvenaria deve ser limpa localmente e humedecida antes da reparação.

5

DESENVOLVIMENTO DO MODELO

5.1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foca-se na caracterização do comportamento acústico de um bloco misto constituído por elementos de alvenaria e uma camada resiliente com características fonoabsorventes. É objectivo deste capítulo caracterizar quer os elementos usados na composição do bloco misto quer o modelo que se construiu.

Assim, inicialmente descrevem-se as propriedades dos blocos térmico e industrial, da argamassa de colagem e da espuma de poliuretano, para, seguidamente, ser explicado o modelo adoptado para o bloco com as alterações introduzidas. Finaliza-se o capítulo com as conclusões retiradas após a construção de uma parede com os blocos.

5.2 MATERIAIS

5.2.1 BLOCO TÉRMICO [24]

O bloco térmico é constituído por betão leve de agregados de argila expandida Leca® com marcação CE segundo a norma EN771-03:2004, com massa volúmica nominal de 1200kg/m^3 . Dispõe de furação vertical e de encaixe macho e fêmea nas faces de topo, o que permite a realização de juntas verticais secas.

O betão leve, quando comparado com betão normal apresenta algumas vantagens tais como: a redução do peso próprio, maior resistência térmica, durabilidade (com composições adequadas conseguem-se impermeabilidades satisfatórias que não põem em causa a sua durabilidade) e, sob determinados aspectos e em algumas condições, pode conduzir a uma melhoria do desempenho acústico.

Pode apresentar-se com várias espessuras, BT15, BT20, BT25, BT30, onde o algarismo que se segue à designação BT indica a espessura do bloco, em centímetros. O peso e a percentagem de furação variam conforme a espessura do bloco.

O bloco maxit BT® aplicado é do tipo BT 25, cujas dimensões nominais são 49cm de comprimento, 25 cm de largura e 19cm de altura. As dimensões de coordenação são de $50 \times 20\text{cm}^2$. A junta vertical é seca e é realizada com encaixe macho-fêmea. O bloco terá coloração rosada. É caracterizado por uma massa de 15,3 Kg, percentagem de furação do bloco 49% (EN772-2), espessura dos septos $> 21.0\text{ mm}$, massa volúmica aparente seca: 650kg/m^3 (EN772-13), tensão de rotura à compressão: $> 2.5\text{ MPa}$, (EN772-1), classe de resistência ao fogo CF240, classe de reacção ao fogo A1 e coeficiente transmissão térmica $1.20\text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

5.2.2 BLOCO LEVE INDUSTRIAL [24]

Trata-se de um bloco em betão com agregados leves de argila expandida da marca Leca®, designado por maxit Bloco Leve Industrial (BLI), destinado à execução de paredes exteriores em pano simples ou pano duplo para edifícios industriais e agrícolas, paredes divisórias entre fogos independentes com isolamento acústico, ou paredes interiores em pano simples.

O maxit BLI tem como dimensões nominais 50cm de comprimento, 19cm de altura e com larguras variáveis de 8,10, 12, 15, 20 e 30cm.

No caso do bloco aplicado, 10 cm, o coeficiente de transmissão térmica (K) será de $2.4 \text{ W/m}^2.\text{C}^\circ$. Relativamente ao comportamento ao fogo, é da classe CF90. A resistência mecânica mínima à compressão é de 1,80Mpa.

5.2.3 ARGAMASSA DE COLAGEM [24]

A argamassa utilizada na colagem dos blocos e espuma foi a Maxit 408, que é uma argamassa seca e pré-doseada, reforçada com fibras, composta por cimento Portland e cargas minerais calibradas. Os polímeros, fibras e adjuvantes que contêm na formulação, permitem obter boa trabalhabilidade, aderência e diminuição da absorção de água por parte do suporte.

Trata-se de um produto indicado para ser utilizado como cola mas também pode ser utilizado como argamassa de reabilitação de fachadas ou para reparação e nivelamento de vários tipos de suportes. Esses suportes, devem ser minerais, como betão, alvenaria em blocos, cerâmica ou suportes à base de cal/cimento.

5.2.3.1 Condições de Armazenamento

Deve ser armazenado em locais com temperaturas superiores a 0°C e aplicado com temperaturas entre 5°C e 35°C . Deve ser evitada a aplicação em fachadas expostas ao sol ou vento directos. O produto não deve ser aplicado em suportes húmidos ou molhados. As superfícies que não se pretendam revestir devem ser protegidas e os pontos que forem acidentalmente salpicados devem ser imediatamente lavados com água limpa. Tem validade de um ano a partir da data de fabrico, desde que seja mantido em embalagem original fechada e ao abrigo da humidade.

5.2.4 ESPUMA

A camada resiliente com propriedades fonoabsorventes é conferida por um produto cuja designação comercial toma o nome de Aglomex Acoustic. É produzida pela FLEX 2000 e trata-se de um aglomerado de espumas de poliuretano. Os desperdícios de produção das espumas são aproveitados tendo como resultado final esta espuma. Os resíduos são moídos e ligados com uma cola para dar origem a aglomerados de densidade e espessura variável.

Dada a importância crescente que os produtos “amigos do ambiente” evidenciam, pode-se considerar, por isso, que se trata de um produto interessante para aplicar na construção. “O crescimento da consciência ambiental por parte das populações e dos utentes dos edifícios está a conduzir a uma pressão sobre os agentes da construção no sentido de privilegiar soluções naturais, sustentadas em termos ambientais e geradoras de poucos impactos. Ao nível destas preocupações refere-se a rejeição de determinados tipos de isolantes potencialmente poluentes ou soluções requerendo na sua produção grandes quantidades de energia, bem como privilegiar as soluções que utilizem nas alvenarias subprodutos de outras actividades humanas ou mesmo da construção”. [25]

Contudo, salienta-se o mau comportamento que apresenta face ao fogo. Este material tem mau comportamento pois pode entrar em combustão se exposto a fontes de calor elevadas. Devido ao processo de fabrico, liberta gases tóxicos quando exposto à chama. No entanto, devido à localização da espuma no elemento construtivo, posição central, o seu mau comportamento face ao fogo só será evidenciado quando o incêndio tenha já consumido as camadas de reboco e dos blocos de betão.

Deve, portanto, ter-se especial cuidado no armazenamento destes elementos pois constituem um factor de risco em situação de incêndio.

A densidade das espumas, se compreendida entre 60 a 200 kg/m³, não influencia o comportamento do elemento ao isolamento a sons aéreos, enquanto a espessura condiciona os resultados, sendo tanto melhores quanto mais espessa for a espuma [26].



Fig. 13 – Espuma de poliuretano

5.3 MODELO

5.3.1 INTRODUÇÃO

Este estudo tem como objectivo caracterizar o comportamento acústico de um bloco que se pretende usar em paredes de separação entre fogos. Como tal, partiu-se de uma ideia, construindo-se um protótipo. As alterações foram feitas à medida que se avançava e se percebia as implicações que determinada opção acarretava.

5.3.2 DESCRIÇÃO DO MODELO

O objectivo era construir um bloco simples que tivesse as características de uma parede dupla, ou seja, um bloco que reunisse as vantagens acústicas de uma parede dupla, mas que resultasse num elemento único para a construção da parede. Desta forma, em obra, a execução da parede seria feita mais rapidamente, sem necessidade de construir um pano de cada vez com a introdução de isolamento no interior dos panos, como a solução tradicional.

Para tal, era importante que o bloco construído tivesse algumas características anteriormente referidas, tais como a facilidade de manuseamento e o peso total do bloco, que não deveria ser muito elevado.

A ideia concretizou-se num “bloco misto” que deveria ser composto por uma camada resiliente com características fonoabsorventes colocada entre blocos de betão de espessuras distintas. As espessuras deveriam ser o mais diferente possível, sem aumentar exageradamente a espessura final da parede, pois, desta forma, consegue-se que as frequências críticas de cada painel sejam mais afastadas.

Em paredes de separação entre fogos o objectivo principal é o isolamento acústico, pressupõe-se que os fogos são aquecidos de igual forma não havendo fluxos de calor consideráveis. Assim, não há lugar a preocupação de isolamento térmico, não se justificando a inclusão de caixa de ar entre os panos de parede. [23]

Para que este bloco seja aceite como uma solução para a construção de paredes de separação entre fogos é essencial que apresente, entre outros parâmetro, para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{n,w}$, um valor igual ou superior a 50 dB. Todavia, este valor é obtido *in situ*, com a presença de transmissões marginais. As transmissões marginais não são facilmente previsíveis, pois dependem das características da envolvente em que o elemento construtivo se insere. Para entrar em conta com estas transmissões, é habitual admitir-se uma diminuição de 3 dB na redução sonora conferida pela parede [1]. No sentido de incluir estas transmissões, e considerando a hipótese da diminuição de 3 dB, é necessário garantir que o isolamento não seja inferior a 53 dB.

Um factor importante prende-se com o material de colagem. Este deveria garantir uma aderência perfeita ao suporte e possuir uma boa resistência, de tal forma que fosse possível transportar o bloco misto pegando pelo bloco de betão e não houvesse qualquer tipo de descolagem entre as camadas constituintes. Deveria ainda possuir características compatíveis com os outros elementos, os blocos de betão e a espuma de poliuretano, pois nem todas as argamassas de colagem são apropriadas para aplicar em estruturas porosas e, simultaneamente, em suportes minerais, como é o caso de betão, alvenaria em blocos de agregados de argila expandida ou cerâmica.

As camadas do “bloco misto” têm um desfasamento entre si para permitir um melhor encaixe, sem necessidade de recorrer a argamassa para conferir estabilidade nas juntas verticais. No primeiro esboço, o bloco apresentava uma configuração que posteriormente foi abandonada. Apresentava um desfasamento em que os blocos que constituíam o bloco final não ficavam assentes no mesmo plano, como se constata nas figuras 14 e 15.

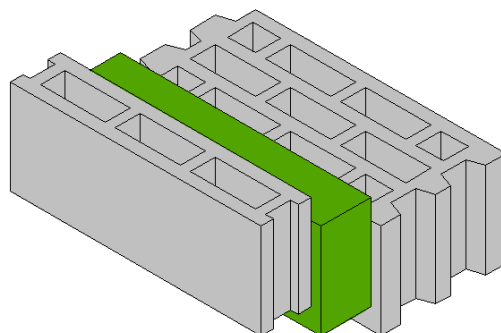


Fig. 14 – Ideia inicial de bloco misto

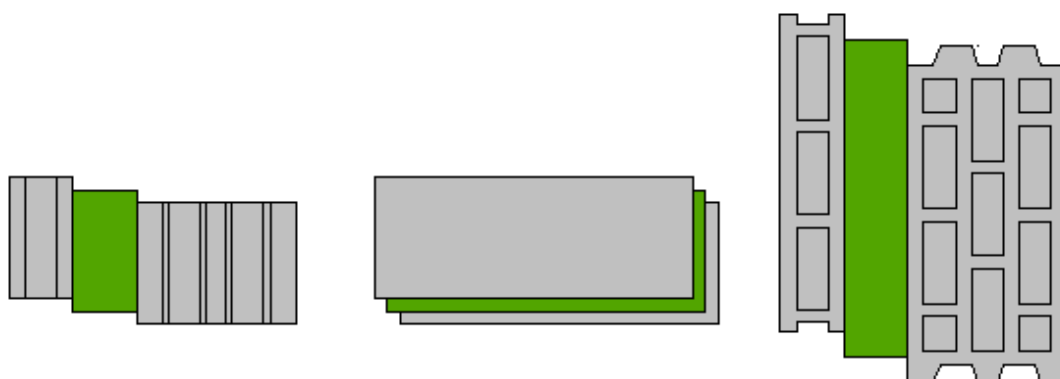


Fig. 15 – Vistas do bloco inicial

Esta disposição foi alterada pois trazia alguns problemas de armazenagem e transporte dos blocos. Para que não sofressem grandes estragos nas fases de transporte, principalmente, seria necessária a colocação de calços com o formato do bloco para conferir alguma estabilidade, tanto na base como no topo. Tal procedimento não é muito prático, pelo que se enveredou por outro caminho.

Mantendo o desfasamento pretendido idealizou-se um novo bloco, mas, desta vez, os blocos que integravam o bloco final assentavam no mesmo plano, resultando num bloco onde a espuma era responsável pelo desnível pretendido, como se ilustra nas figuras 16 e 17.

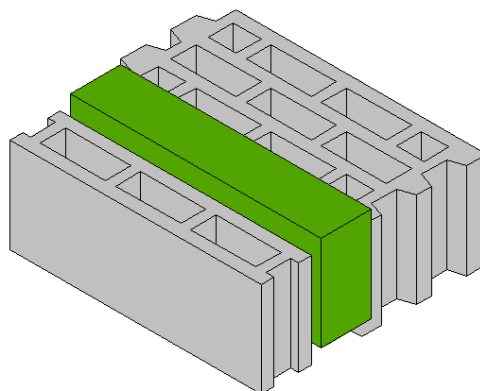


Fig. 16 – Bloco misto estudado

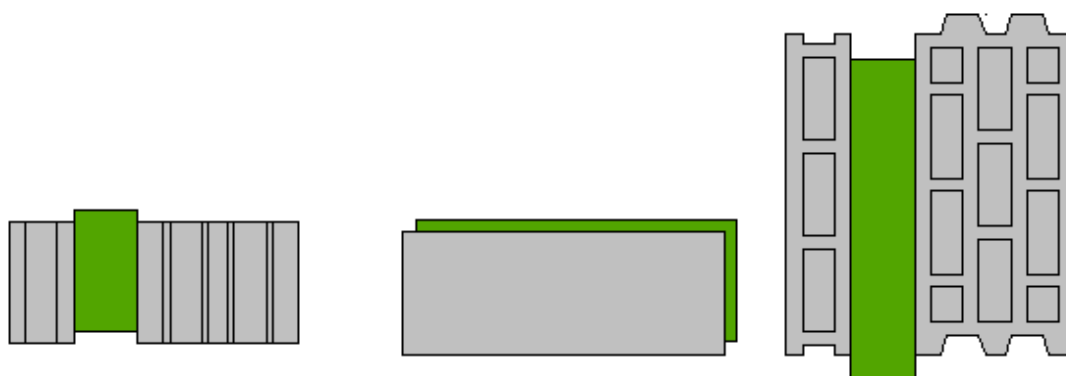


Fig. 17 – Vistas do bloco misto estudado

O destacamento dado à espuma poderia ter sido feito de outra forma. Ao invés de estar a um nível superior ao dos blocos, como se constata facilmente na figura 16, o destacamento poderia ser feito de tal forma que a espuma ficasse a um nível inferior ao dos blocos, mantendo-se o encaixe pretendido entre blocos. Seguindo essa opção, ao colocar argamassa para preenchimento das juntas horizontais, haveria o risco que a argamassa caísse na cavidade, que seria preenchida pela espuma do bloco da fiada seguinte, criando desta forma um desequilíbrio na concepção da parede.

Como referido anteriormente, para que o bloco seja facilmente manuseado é importante que não seja muito pesado. Optou-se pois por blocos de betão de argila expandida, que apresentam massa volúmica inferior à dos blocos de betão corrente.

A gama de blocos escolhida, bloco leve industrial e bloco térmico, para as espessuras pretendidas, apresenta formas de realização de junta vertical diferente. Assim, para o pano menos espesso, os blocos leves industriais, a junta vertical será preenchida com argamassa de assentamento igual à argamassa das juntas horizontais, como se indica na figura 18. O pano mais espesso, constituído por blocos térmicos, apresenta um sistema de encaixe tipo macho-fêmea o que permite a realização de juntas verticais secas.

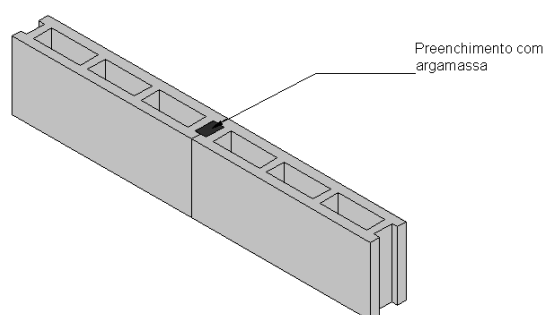


Fig. 18 – Bloco leve com junta vertical preenchida

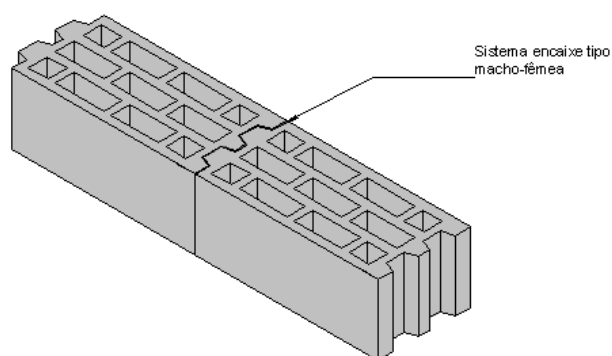


Fig. 19 – Bloco leve com junta vertical seca

Importa referir que para a realização de paredes com este tipo de unidades deve estudar-se, com algum cuidado, a geometria da parede de forma a definir a quantidade de blocos “especiais” necessários à concepção dessa parede. Estes blocos são “especiais” devido às especificidades geométricas que

apresentam. Em zona corrente a parede é integralmente constituída por blocos como o apresentado na figura 16, dando origem ao esquema ilustrado na figura 20.

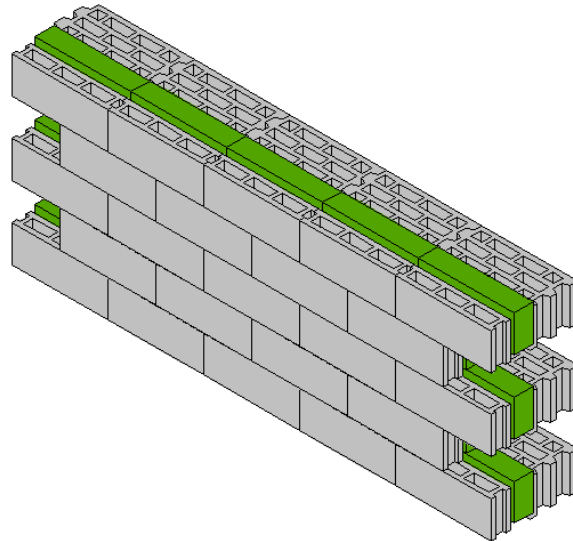


Fig. 20 – Esquema de parede em zona corrente

Contudo, e como facilmente se depreende, devido ao assentamento contrafiado, é necessária a fabricação de meios blocos para a finalização da parede. Devem ainda ser previstos blocos de arranque e fecho de fiada, ou seja, blocos que apresentam uma das faces, perpendiculares ao plano de parede, lisa, sem reentrâncias para encaixe noutro bloco. Os blocos de primeira e última fiadas devem também ter uma configuração diferente do bloco apresentado.

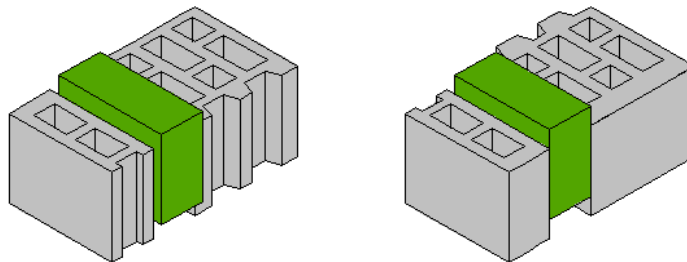


Fig. 21 – Meios blocos

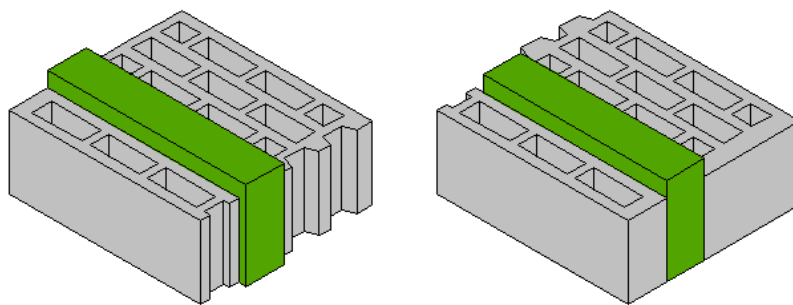


Fig. 22 – Blocos de primeira fiada

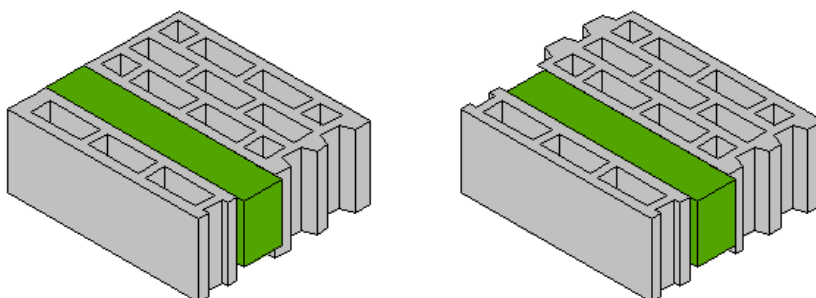


Fig. 23 – Blocos de última fiada

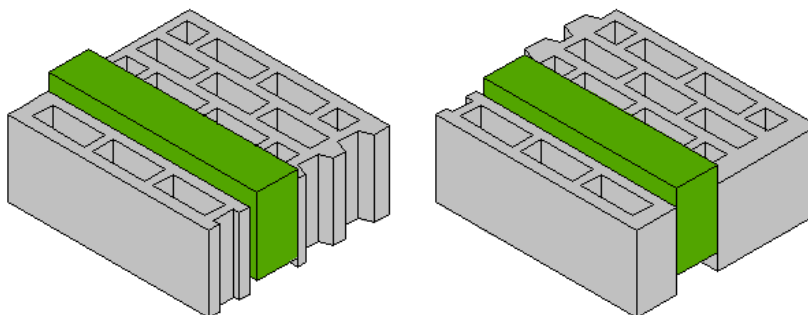


Fig. 24 – Blocos de início e fim de fiada

Com a conjugação de todos estes blocos é então possível a construção de uma parede sem recurso a blocos cortados em obra. Desta forma, além de um bloco cortado em fábrica, com aparelhos próprios para o efeito e, portanto, com as dimensões definidas sem grandes desvios, criam-se condições para a colocação contínua dos blocos sem paragens para os cortar, quebrando o ritmo de trabalho.

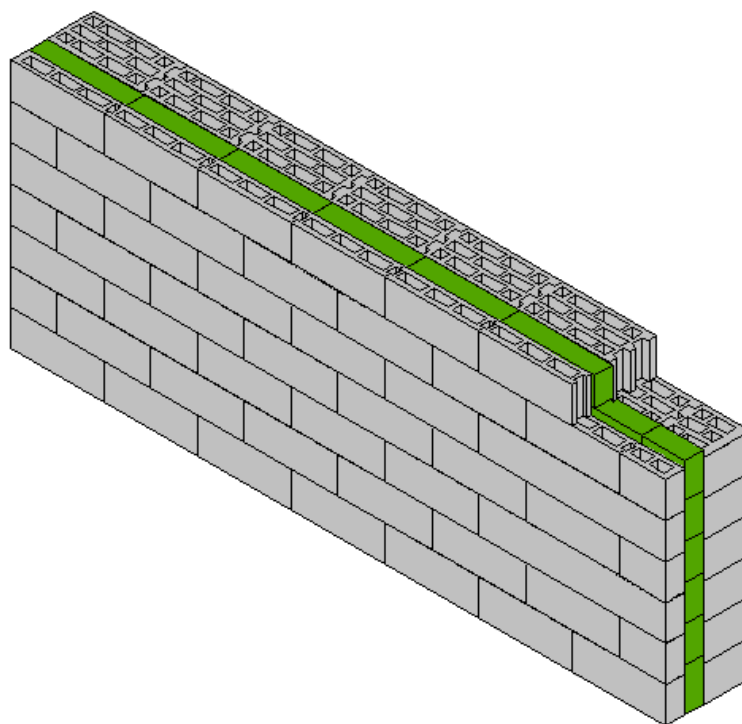


Fig. 25 – Parede com utilização de blocos correntes e “especiais”

5.3.3 CONCRETIZAÇÃO DO MODELO

Os blocos, constituídos pelos materiais definidos em 5.2, foram concretizados com auxílio de um molde lateral, figura 26. A razão de ser deste procedimento justifica-se para obter um maior rigor no desfasamento dado em todos os blocos, uma vez que estes foram colados manualmente.

O processo de colagem foi muito demorado, por ser feito de forma manual, pelo que se admite que os blocos possam vir a ser colados mecanicamente, com vista a obter benefícios financeiros e maior precisão no desfasamento dado à espuma, relativamente aos blocos de betão, o que não se afigura possível com a colagem manual.

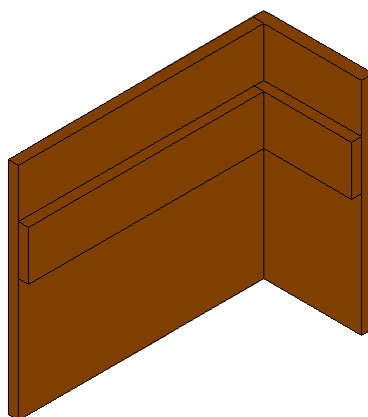


Fig. 26 – Molde para fabricação do bloco misto

A espuma é fornecida em placas de 100 x 60 mm. Havia pois a necessidade de a cortar com as dimensões da face dos blocos. Atendendo a que a espuma não podia ser cortada a quente, dada a sua toxicidade nestas situações, o corte foi feito com lâmina, de modo manual. A espessura da espuma, 10 cm, e o modo de fabrico da mesma (aglutinação de restos de outras espumas) dificultaram um pouco o processo. A precisão do corte era danificada pela altura das placas, que impossibilitou o corte contínuo, e, sensivelmente a meio da espessura da placa de espuma, esta começava a esfarelar, desviando o corte. Por estes motivos, as dimensões das placas de espuma para colar aos blocos não resultaram muito regulares.

Os blocos mistos foram construídos tendo como base o bloco mais espesso onde se dispunha a argamassa de colagem, espalhada com talocha. A espuma era colocada por cima, pressionando ligeiramente. De seguida, dispunha-se nova camada de argamassa, directamente na espuma e, por último, o bloco menos espesso era colocado e pressionado para melhor aderência da argamassa.



Fig. 27 – Fabricação do bloco misto – primeiro bloco



Fig. 28 – Fabricação do bloco misto – colocação de argamassa de colagem



Fig. 29 – Fabricação do bloco misto – colocação de argamassa de colagem sobre espuma de poliuretano



Fig. 30 – Bloco misto pronto

5.3.4 CONSTRUÇÃO DA PAREDE

A parede a ensaiar em câmara reverberante foi construída com os blocos realizados da forma explanada anteriormente. Não se dispunha de meios blocos, nem qualquer tipo de bloco “especial” pelo que os ajustes necessários foram feitos no momento, com auxílio dos equipamentos existentes.

No decorrer da construção da parede constatou-se que a espuma deveria ser um pouco mais destacada para se obter maior encaixe. Assim, o afastamento dado à espuma, de 2 cm, deve ser aumentado, para 3 cm, conferindo desta forma um maior encaixe e aumentando o percurso que as ondas sonoras percorrem na junção dos blocos.

Constatou-se que os blocos mistos eram um pouco pesados, sendo aconselhável substituir o bloco mais espesso por um mais leve.

O maior problema encontrado durante a construção da parede foi a geometria irregular da espuma devida ao corte. O destacamento de algumas espumas era superior ao desejado, ao juntar os blocos quer ao longo da fiada, quer no sentido da elevação da parede, verificou-se uma certa irregularidade na disposição dos blocos. Como consequência, as juntas verticais de alguns blocos, juntas secas devido ao tipo de encaixe que apresentam, ficaram um pouco afastadas e as juntas horizontais ficaram com espessura final superior, para tentar regularizar a fiada seguinte. Na figura 31 é possível observar estas situações.



Fig. 31 – Parede realizada com blocos mistos

5.4 CONCLUSÕES

A materialização dos blocos foi feita de um modo muito manual, sem recurso a equipamentos complexos. Desse facto resultou alguma falta de exactidão que condicionou a construção da parede.

Estes procedimentos, se realizados em fábrica, com equipamento adequado, resultam numa maior exactidão do processo de fabrico dos blocos mistos, tanto para o corte das espumas, como para o distanciamento a dar à espuma. Sabe-se também que a produção em série melhora o modo de fabrico, a custos mais baixos.

Os tempos gastos na preparação da espuma e realização dos blocos não justificam a sua aplicação na construção quando realizados manualmente. O processo industrial apresenta um papel muito importante, sem o qual não se tira partido das potencialidades deste processo construtivo.

Interessa, no entanto, referir que o objectivo deste trabalho não é o de desenvolver um novo produto atentando em todas as particularidades que deve obedecer, mas apenas a caracterização acústica de um potencial novo produto.

6

MODELOS DE PREVISÃO

6.1 INTRODUÇÃO

Os valores do isolamento a sons de condução aérea são de extrema importância para a realização de um bom projecto. Ao longo do tempo foram desenvolvidos vários métodos para a previsão desses valores com base em modelos experimentais para as várias soluções ou elementos construtivos que podem constituir uma parede.

6.2 MÉTODO DE SHARP

Este método, publicado em 1973, determina, de forma aproximada, os valores de redução sonora por bandas de frequência para paredes duplas, sendo mais adequado para paredes leves, ou seja, os resultados obtidos são mais próximos dos reais neste tipo de paredes. Posteriormente, foi adaptado para paredes pesadas. Trata-se de um método gráfico que resulta da observação de vários estudos realizados.

Em função das características de cada pano que constitui a parede, mais concretamente da massa superficial do painel, velocidade do som no material, espessura e espessura, e do espaçamento da caixa de ar e o preenchimento desta com material absorvente, obtém-se um gráfico que indica a capacidade isolante desse elemento.

A inclusão de material absorvente no interior dos panos altera o seu desempenho, melhorando-o.

Baseia-se no declive das rectas formadas pelos pontos A,B,C e D que estão representados na figura 31. Estes pontos caracterizam os pontos críticos/mudança no comportamento do elemento. Com base nas frequências que condicionam desempenho do elemento são calculados os valores da redução sonora.

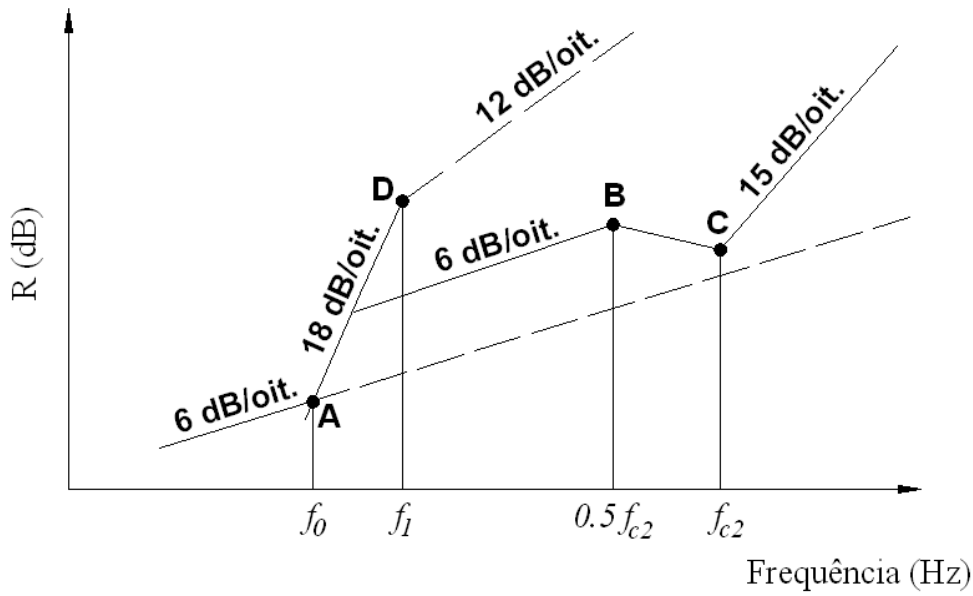


Fig. 32 – Método de Sharp

Os dois panos de parede estão ligados entre si, o que se traduz na formação de uma “ponte mecânica” que permite a passagem de vibrações. Este facto tem como consequência a limitação da redução sonora em 6 dB/octava [27].

Apesar de ser um método simples para estimar o valor de R , tem algumas falhas. Não é possível indicar qual o tipo de material absorvente, logo, não entra em conta com as propriedades deste material, espessura ou densidade.

Os pontos anteriormente referidos são definidos tendo em conta que o painel 1 corresponde ao painel com menor frequência crítica. Desta forma tem-se:

Ponto A:

A frequência de ressonância, f_0 , é determinada como explicado anteriormente em (3.20). Para determinar a redução sonora neste ponto utiliza-se a expressão 4.1.

$$R_A = 20 \cdot \log(m_1 + m_2) + 20 \cdot \log(f_0) - 48 \quad (4.1)$$

Ponto B:

É calculado a partir da frequência crítica do segundo painel e o seu valor depende da inclusão de material absorvente na caixa de ar e do tipo de ligação entre os dois panos da parede.

Nos casos em que não haja material absorvente na caixa de ar a expressão a utilizar é:

$$R_{B1} = R_A + 20 \cdot \log\left(\frac{f_{c1}}{f_{c2}}\right) - 6 \quad (4.2)$$

Quando se inclui material absorvente na caixa de ar o valor a utilizar é o maior dos valores resultantes da aplicação das expressões (4.3) e (4.4), R_{B1} e R_{B2} . Este último é calculado por várias expressões:

Se os painéis dos dois panos de parede estão apoiados segundo uma linha, apoio em linha-linha, a expressão a considerar será [27]:

$$R_{B2} = 20 \cdot \log(m_1) + 10 \cdot \log(b) + 30 \cdot \log(f_{c2}) + 20 \cdot \log\left(1 + \frac{m_2 \cdot \sqrt{f_{c1}}}{m_1 \cdot \sqrt{f_{c2}}}\right) - 78 \quad (4.3)$$

Se o apoio de um dos panos for feito segundo um ponto (como é o caso de apoio em espaçadores) e o outro pano tiver apoio ao longo de uma linha, apoio em linha-ponto, verifica-se que R é dado por [27]:

$$R_{B2} = 20 \cdot \log(m_1 \cdot e) + 40 \cdot \log(f_{c2}) - 99 \quad (4.4)$$

Quando ambos os painéis têm apoio por pontos, apoio em ponto-ponto, determina-se a redução sonora por:

$$R_{B2} = 20 \cdot \log(m_1 \cdot e) + 40 \cdot \log(f_{c2}) + 20 \cdot \log\left(1 + \frac{m_2 \cdot f_{c1}}{m_1 \cdot f_{c2}}\right) - 105 \quad (4.5)$$

Ponto C:

Trata-se do “ponto crítico” do elemento pois situa-se numa gama de frequências audível. Depende das frequências críticas dos dois panos, se forem iguais a expressão é a indicada em (4.6), se forem diferentes usa-se a expressão (4.7):

Quando $f_{c1} = f_{c2}$:

$$R_C = R_B + 6 + 10 \cdot \log(\eta_2) + 5 \cdot \log(\eta_1) \quad (4.6)$$

Quando $f_{c1} \neq f_{c2}$:

$$R_C = R_B + 6 + 10 \cdot \log(\eta_2) \quad (4.7)$$

- Ponto D:

É calculado a partir do ponto A.

$$R_D = R_C + 60 \cdot \log\left(\frac{f_1}{f_2}\right) \quad (4.8)$$

6.3 MÉTODO DE MEISSER

Ao contrário do método de Sharp, este modelo de cálculo pode ser utilizado para quase todos os tipos de paredes, obtendo-se os valores aproximados de R com a frequência, mas mais indicado para paredes com panos pesados.

Trata-se também um método gráfico, publicado em 1973, onde são definidas as frequências características do elemento e é calculada a redução sonora para a frequência de 500 Hz. Com estes dados e com o auxílio de segmentos de recta de declive predefinido é traçado o gráfico que traduz o comportamento do elemento.

Este método apresenta algumas limitações além das já referidas para o método de Sharp. Não considera o tipo de ligação existente entre os panos de alvenaria, que é tanto mais significativa quanto mais leve for o pano de parede, nem entra em linha de conta com a espessura exacta da caixa de ar, apenas faz variar um factor, K, que toma dois valores distintos para caixas de ar com 4 a 5 cm e caixas de ar de espessura superior a 10 cm.

Para a aplicação desta metodologia deve traçar-se segmentos de recta auxiliares com declives de 6 dB/oitava, 8 dB/oitava, 10 dB/oitava e -10 dB/oitava num gráfico cujo eixo das abcissas tenha escala logarítmica e escala linear no eixo das ordenadas.

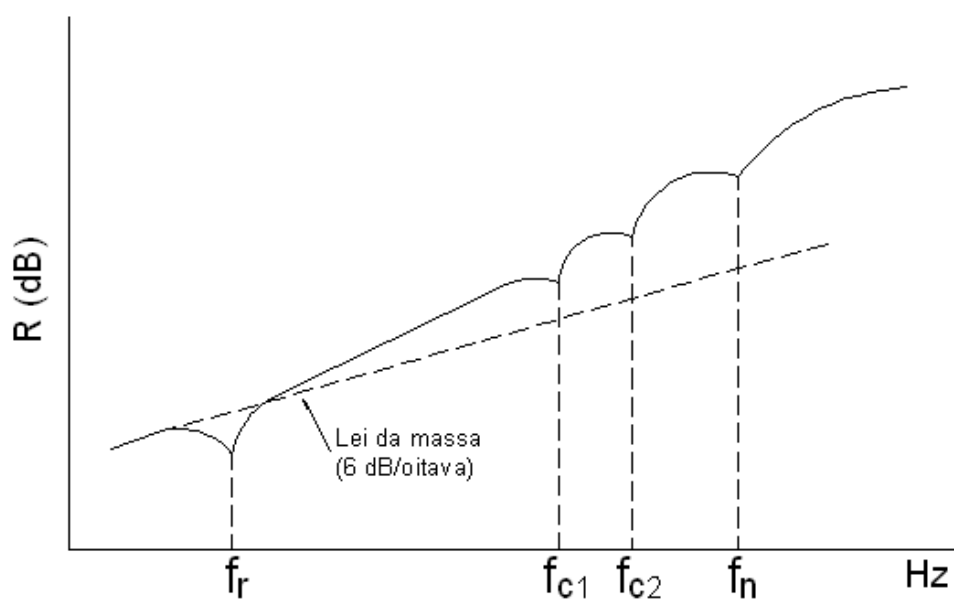


Fig. 33 – Comportamento de parede dupla, base do método de Meisser

Inicia-se o método com a determinação de R para a frequência de 500 Hz com recurso à expressão (4.9). Representa-se esse ponto no gráfico onde se faz passar um segmento de recta com declive de 6 dB/oitava, que se prolonga tanto para a direita como para a esquerda deste ponto.

Determinam-se as ordenadas dos pontos críticos do elemento: frequência de ressonância, f_0 , frequências críticas dos dois painéis (ou frequência crítica, se for idêntica para os dois painéis), f_c , e a ressonância inicial da caixa de ar, f_{n1} . As frequências críticas são obtidas por (3.17) e a frequência de ressonância por (3.20).

A redução sonora para a frequência de 500 Hz é dada por [1], [28]:

$$R_{500\text{Hz}} = 13,3 \cdot \log(m_1 + m_2) + K + 13,4 \quad (4.9)$$

Onde :

$K = 4$, para caixas de ar com dimensões correntes (4 a 5 cm) preenchidas com material absorvente e para painéis de massas da mesma ordem de grandeza;

$K = 9$, valor máximo, para espessuras de caixa de ar superiores.

A redução sonora para a frequência de ressonância é dada pela subtração de 4 dB ao valor que o segmento de recta, anteriormente traçado, toma nessa ordenada

A redução sonora para as frequências críticas processa-se de forma idêntica mas o valor a subtrair é de 5 dB se estas forem diferentes, se forem iguais deve subtrair-se 9 dB

Para a ressonância da caixa de ar, ao valor obtido pelo segmento de recta auxiliar nessa frequência subtrai-se 1 dB.

Representam-se estes pontos e a partir deles traçam-se segmentos de recta com declive de 10 dB/oitava até intersectarem o segmento de recta auxiliar de 6 dB/oitava anteriormente traçado.

No ponto de confluência dos dois segmentos de recta (6 dB/oitava e 10 dB/oitava) traçam-se segmentos de recta com declive de 8 dB/oitava.

Para finalizar, marcam-se segmentos de recta de declive -10 dB/oitava nos pontos críticos anteriormente definidos.

A curva resulta do cruzamento de todos os segmentos de recta definidos.

6.4 MÉTODO EXPERIMENTAL

A determinação do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea pode ser determinada em câmara reverberante. Neste caso, e devido às instalações onde decorre o ensaio, são suprimidas as transmissões marginais que se verificam in situ.

6.4.1 CÂMARA REVERBERANTE

A câmara reverberante é uma sala em que todas as superfícies são reflectoras o que conduz a tempos de reverberação muito elevados. O campo sonoro é difuso para que o método seja eficaz.

O método pode ser aplicado para determinar o isolamento sonoro a ruídos aéreos conferido por vários elementos de construção (paredes, pavimentos, portas, janelas, elementos de fachada, ...). Tem particular interesse para comparar propriedades de isolamento sonoro de elementos e classificar esses elementos de acordo com o seu desempenho de isolamento sonoro.

6.4.2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

O procedimento de ensaio está estabelecido na norma NP EN 20140-3: 1998 – Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 3: Medição em laboratório do isolamento sonoro a sons aéreos de elementos de construção. Esta norma contém indicações de outras normas:

- ISO 140-1: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 1: Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission.
- ISO 140-2: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 2: Determination, verification and application of precision data.
- ISO 354: Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room.
- ISO 717-1: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.
- IEC 225: Octave, half-octave and third-octave band filters intended for the analysis of sounds and vibrations.
- IEC 651: Sound level meters.
- IEC 804: Integrated-averaging sound level meters.
- IEC 942: Sound calibrators

Esta norma foi preparada pelo Comité Técnico ISO/TC 43 “Acústica” em colaboração com o CEN/TC126 “Propriedades acústicas dos elementos de construção e dos edifícios” e aprovada pelo CEN em 1995 [29]

6.4.3 AMOSTRA A ENSAIAR

As instalações da câmara reverberante e o elemento a ensaiar devem satisfazer as especificações presentes na ISO 140-1. No caso do elemento de ensaio ser uma parede, a amostra deve ter 10 m² e o comprimento do seu lado menor é de 2,3 m, no mínimo. Deve ser instalada de modo idêntico ao que se faz *in situ*. Se uma das superfícies for mais absorvente que a outra, deve ser colocada do lado da câmara emissora.

6.4.4 METODOLOGIA DE ENSAIO

No compartimento emissor deve ser produzido um ruído branco cuja energia seja suficiente para que a diferença entre o nível de pressão sonora na câmara receptora e o nível do ruído de fundo seja, no mínimo, de 15 dB.

Os microfones, colocados tanto no compartimento receptor como no emissor, devem ser colocados, no mínimo, em cinco posições, que devem estar repartidas por toda a câmara. A duração mínima da medição depende da frequência central da banda considerada: para frequências centrais inferiores a 400 Hz a duração mínima é de 6 segundos enquanto para as outras frequências a duração não deve ser inferior a 4 segundos. Na presença de microfones fixos, o nível médio de pressão sonora na câmara é dado pela expressão 4.10. Obtém-se assim, a média energética dos valores obtidos em cada posição, tanto na câmara emissora como na câmara receptora [29].

$$L_p = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (4.10)$$

A redução sonora é obtida pela diferença de pressão registada nos dois compartimentos acrescida de um factor correctivo devido à absorção da câmara receptora:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (4.11)$$

Onde,

L_1 - nível médio de pressão sonora na câmara emissora;

L_2 - nível médio de pressão sonora na câmara receptora;

S - área do elemento de ensaio, em m^2 ;

A - área de absorção sonora contínua equivalente da câmara receptora, em m^2 .

A área de absorção sonora equivalente é determinada a partir do tempo de reverberação, que é medido de acordo com a ISO 354, e calculada com base na fórmula de Sabine:

$$A = \frac{0,16 \cdot V}{T} \quad (4.12)$$

Onde,

A - Área de absorção sonora equivalente da câmara receptora (m^2)

V - Volume da câmara receptora (m^3)

T - Tempo de reverberação da câmara receptora (s)

Os resultados obtidos nas bandas de baixas frequências dependem das dimensões da câmara emissora. Para estas frequências os comprimentos de onda são elevados pelo que salas de pequeno volume e

dimensões desfavoráveis não são aconselháveis, pois não são garantidas condições de campo difuso. O anexo F da NP EN 20140-3 apresenta indicações sobre o modo de proceder para medições em baixas frequências, indicando as distâncias mínimas entre microfones e paredes da sala de ensaio e entre os microfones e a superfície dos provetes de ensaio. A posição dos altifalantes, que para as bandas de frequências acima dos 400 Hz é no mínimo de três, sofre alteração, devendo o número de posições aumentar. A opção por um microfone móvel é recomendada. [29]

7

ANÁLISE DE RESULTADOS

7.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos pelos modelos de cálculo utilizados. Pretende-se ainda comparar os mesmos e concluir acerca da validade dos métodos para este tipo de elemento. Faz-se uma análise regulamentar para concluir sobre a utilidade de uma parede construída com o tipo de blocos em estudo. Finaliza-se com uma análise económica.

7.2 RESULTADOS OBTIDOS

De acordo com o exposto no capítulo 6, a estimativa de desempenho de determinado elemento pode ser realizada através de ensaio em câmara reverberante, obtendo-se um valor característico do elemento, ou através de vários modelos de previsão, entre os quais o método de Sharp e o método de Meisser.

7.2.1 MÉTODO EXPERIMENTAL NP EN 20140-3

A determinação da redução sonora de determinado elemento pelo método experimental é realizado em câmara reverberante, como indicado no capítulo 6.4. O ensaio da parede construída com os blocos mistos em estudo decorreu nas instalações do Laboratório de Acústica da FEUP. Na figura 34 observa-se o esquema das câmaras reverberantes.

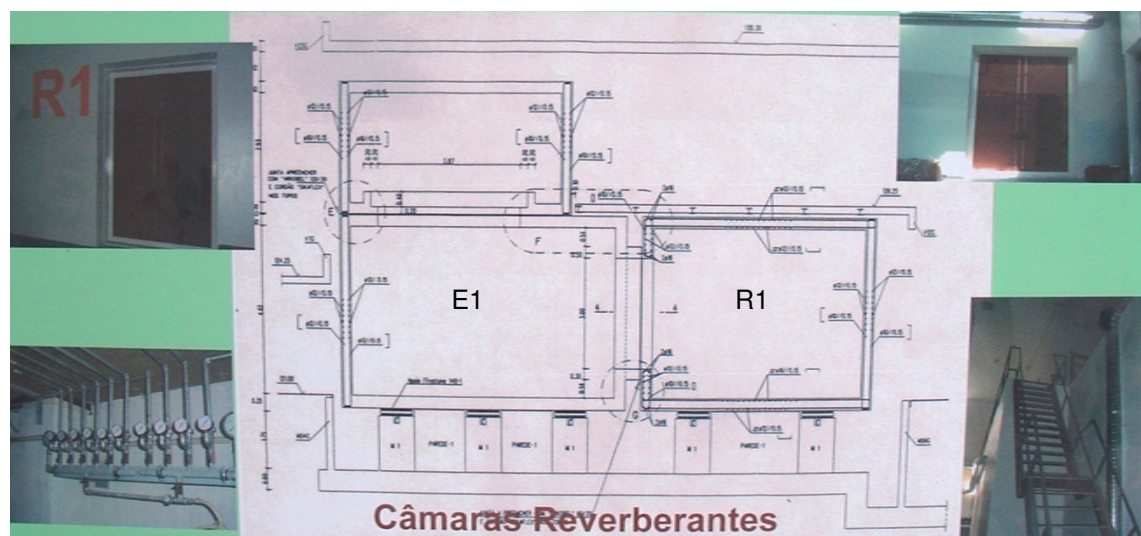


Fig. 34 – Esquema das câmaras reverberantes

A emissão foi feita na câmara indicada como E1 e a câmara receptora é a R1, que tem $217,7 \text{ m}^3$ de volume. A abertura entre as câmaras emissora e receptora tem dimensões $3,3 \text{ m} \times 3,30 \text{ m}$, o que corresponde a uma área aproximada de 10 m^2 ($10,89 \text{ m}^2$).

O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi:

- Sonómetro B&K 2260 (verificado no ISQ –Bol. Ver. 245.70/06.290 de 25 de Maio de 2006);
- Microfone, marca Brüel & Kjær modelo 4189;
- Pré-amplificador, marca Brüel & Kjær modelo ZC0026;
- Calibrador B&K 4231 (verificado no ISQ –Bol. Ver. 245.70/06.290 de 25 de Maio de 2006);
- Termo-Higrómetro Digital 4600;
- Fonte sonora da marca Brüel & Kjær modelo 4296, com difusão multidireccional de acordo com as Normas ISO 140-3, ISO 3382 e DIN 52210 (certificado de conformidade B&K de 03 Fevereiro 2006);
- Amplificador de potência da marca Brüel & Kjær, modelo 2716, com potência de saída para banda larga de 122dB e para 1/3 oitava 100dB de acordo com as Normas ISO 140-3, ISO 3382 e DIN 52210 (certificado de conformidade B&K de 03 Fevereiro 2006)

O microfone foi colocado em seis posições diferentes, tanto na câmara emissora como receptora. Como indicado na norma de ensaio, é obtida a média energética das medições efectuadas nos compartimentos emissor e receptor. A obtenção da redução sonora, por banda de terço de oitava, é ainda corrigida da absorção sonora do compartimento receptor, pelo que o tempo de reverberação obtido para cada banda de frequência foi registado.

Nos quadros 3 e 4 estão indicados os níveis de pressão sonora obtidos na câmara emissora, E1, e receptora, R1, respectivamente.

Quadro 3 – Medições efectuadas no compartimento emissor

Frequência (Hz)	Med.1 (dB)	Med. 2 (dB)	Med. 3 (dB)	Med. 4 (dB)	Med. 5 (dB)	Med. 6 (dB)	L _p 1 (dB)
50	87,7	85,1	90,1	90,1	87,6	89,2	88,6
63	82,9	85,8	82,1	86,3	91,7	92	88,5
80	96,5	93	95,7	92,5	91,5	90	93,8
100	94,5	92,8	96,8	95,2	92,2	91,9	94,3
125	91,4	86,6	94,9	90,2	91,5	86,9	91,2
160	94	91,7	95,4	94,5	94,2	91,1	93,7
200	94,5	94,6	94,9	93,6	96	92,7	94,5
250	92,1	94,8	93,8	92	92,7	91,5	93,0
315	94,8	93,5	94,2	93,9	94,9	93,8	94,2
400	92,1	92,6	93,2	92,7	93,2	92,4	92,7
500	89,9	91,2	91	90,2	90,7	90,6	90,6
630	90,8	90,7	90,7	91	90,5	90,2	90,7
800	87,8	88	87,6	88	87,4	87,7	87,8
1000	84,8	85,3	84,9	84,3	85,3	84,4	84,9
1250	82,1	82,4	82,2	82,1	82,1	81,9	82,1
1600	82,7	83	83,2	82,1	82,5	83	82,8
2000	83,7	84,3	84,2	83,8	83,8	84,2	84,0
2500	83,9	83,7	83,5	83,5	83,6	83,5	83,6
3150	80,9	81,1	81,1	80,6	81,3	81	81,0
4K	78,2	78,3	78,2	78,4	78,4	78,7	78,4
5K	77,9	78	77,6	77,8	78,2	77,9	77,9

Quadro 4 – Medições efectuadas no compartimento receptor

Frequência (Hz)	Med.1 (dB)	Med. 2 (dB)	Med. 3 (dB)	Med. 4 (dB)	Med. 5 (dB)	Med. 6 (dB)	L _p 2 (dB)
50	56,5	59,7	50,1	53,4	61,6	58	58,0
63	47,5	50,2	46,8	60,4	57	63,3	58,2
80	51,7	55,3	49,3	51,7	56,6	54,8	53,9
100	61	64,5	58,1	57,5	54,5	55,9	60,0
125	64	62,3	59,7	63,6	61,1	60,2	62,1
160	57,2	58,1	60	58,1	57,2	56,8	58,0
200	58,2	58,7	55,4	58,5	59,4	60,5	58,7
250	55,8	56,2	55,6	55,7	54,6	54,5	55,4
315	54,2	53,5	53,7	53	54,3	54,3	53,9
400	51,2	51,2	51	50,9	50,9	51,6	51,1
500	44	45,6	44,2	44,1	44,7	44,7	44,6
630	40,1	39,1	39,2	39,8	39,6	39,5	39,6
800	33,5	33,6	33,7	34,2	34,6	34,1	34,0
1000	29,7	30,2	29,8	30,1	30,2	30,6	30,1
1250	27,3	27,5	26,9	27,4	27,8	27,5	27,4
1600	24,6	24,4	23,8	24,5	24,9	25	24,6
2000	19,5	19,4	19	20,3	20,1	20,1	19,8
2500	16,2	16,2	15,6	18,5	18,4	18,1	17,3
3150	12,9	12,7	12,4	16,1	16	15,6	14,6
4K	9,3	9,2	8,7	14,3	14,2	13,2	12,1
5K	8,2	8	7,7	11,2	11,4	10,9	9,9

Os tempos de reverberação obtidos para as bandas de frequência de terço de oitava estão esquematizados na figura 35. Verifica-se que quanto mais alta é a frequência mais baixo é o tempo de reverberação, como seria de esperar, pois, em regra, os materiais absorvem mais em altas frequências que em baixas frequências.

Os tempos de reverberação registados iniciam-se na frequência de 100 Hz. Para as frequências inferiores a 100 Hz, apesar de ter sido registado o nível de pressão sonora, para aplicação da norma NP EN ISO 717-1, tal não seria necessário. Assim, e dado que nestas frequências o tempo de reverberação é muito elevado, não foi feita a determinação do tempo de reverberação para frequências inferiores a 100 Hz.

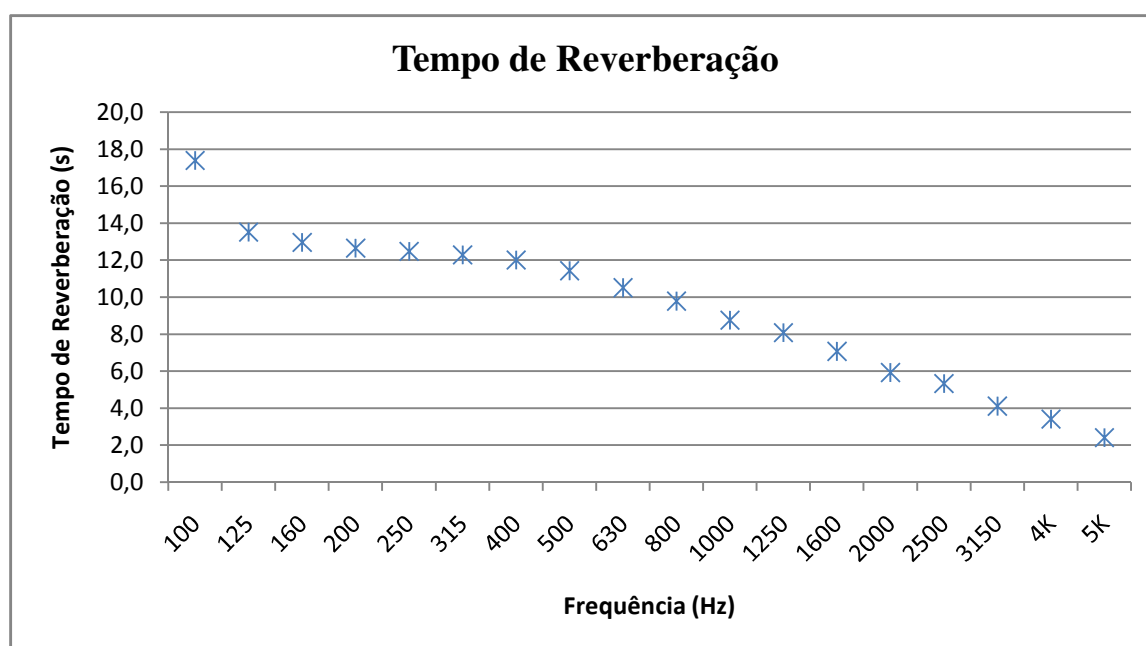


Fig. 35 – Tempo de reverberação para as bandas de terço de oitava

Com os tempos de reverberação por banda de frequência determinam-se as áreas de absorção sonora equivalente através da expressão (6.12). Aplicando a expressão (6.11) obtém-se a redução sonora para cada banda de frequências, como se constata no quadro 5.

Quadro 5 – Redução sonora por banda de frequências

Frequência (Hz)	L _p 1 (dB)	L _p 2 (dB)	T _r 2 (s)	R (dB)
50	88,6	58,0		30,6
63	88,5	58,2		30,3
80	93,8	53,9		39,9
100	94,3	60,0	17,4	41,3
125	91,2	62,1	13,5	34,9
160	93,7	58,0	13,0	41,4
200	94,5	58,7	12,6	41,4
250	93,0	55,4	12,5	43,1
315	94,2	53,9	12,3	45,8
400	92,7	51,1	12,0	47,0
500	90,6	44,6	11,4	51,2
630	90,7	39,6	10,5	55,9
800	87,8	34,0	9,8	58,3
1000	84,9	30,1	8,8	58,7
1250	82,1	27,4	8,1	58,4
1600	82,8	24,6	7,1	61,3
2000	84,0	19,8	5,9	66,6
2500	83,6	17,3	5,3	68,1
3150	81,0	14,6	4,1	67,1
4K	78,4	12,1	3,4	66,1
5K	77,9	9,9	2,4	66,4

A determinação do índice de redução sonora, R_w , pode agora ser efectuada, de acordo com a norma NP EN ISO 717-1. Na figura 35 esquematiza-se a redução sonora, a curva de referência e o limite da câmara. O limite da câmara relaciona-se com a confirmação que a energia sonora transmitida por todas as vias indirectas é desprezável.

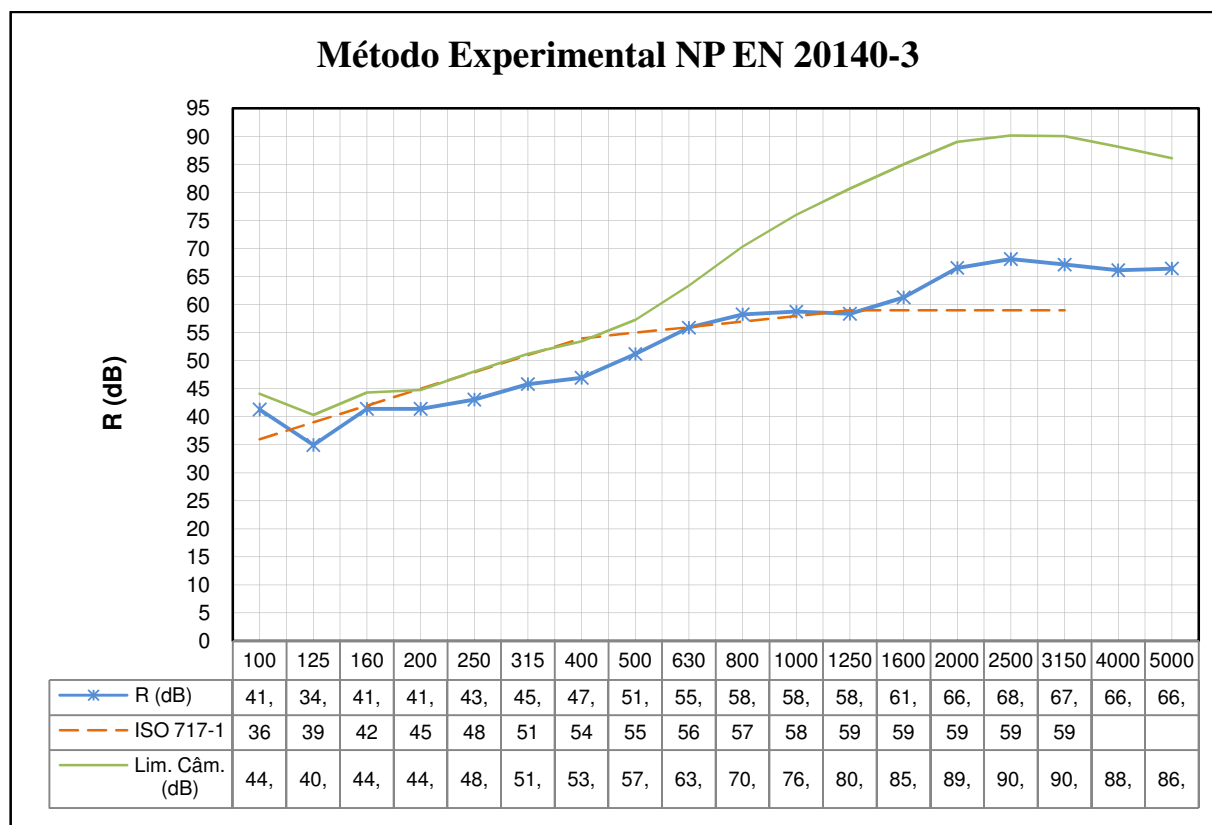


Fig. 36 – Resultados obtidos com o método experimental

O índice de redução sonora é o valor da ordenada da curva de referência, segundo a norma NP EN ISO 717-1, para a frequência de 500 Hz, ou seja, 55 dB.

Constata-se que o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea conferido por esta parede acima dos 500 Hz é sempre superior a 50 dB e a partir dos 800 Hz não decresce dos 58 dB. É importante fazer uma análise diferenciada em termos de frequência pois o ouvido humano não é sensível de igual forma para todas as frequências. As baixas frequências são menos perceptíveis que as frequências entre os 2000 a 4000 Hz. Quanto maior for o valor do isolamento sonoro para estas frequências, menor será o ruído que alcança o compartimento subjacente. Em edifícios de habitação, os ruídos gerados são principalmente devido à utilização por parte dos ocupantes do edifício (conversação, aparelhos sonoros como rádio, televisão) pelo que é importante garantir uma maior eficácia para a gama de frequências em que tais ruídos são gerados.

Analisando o comportamento da parede à luz da figura 8 verifica-se que nem todas as zonas mencionadas são identificáveis. Isto sucede devido às baixas frequências críticas que os painéis apresentam, não sendo pois visível a zona de frequências controlada pela rigidez, nem as ressonâncias características do painel.

7.2.2 MODELOS DE PREVISÃO

Para a determinação do isolamento sonoro através dos modelos gráficos referidos é importante conhecer os dados específicos dos materiais utilizados, de forma a obter, com a maior exactidão possível, essa previsão.

Os blocos de betão utilizados para os dois panos de parede são distintos, quer em espessura quer na sua constituição. A velocidade do som para estas unidades específicas não está determinada nem tabelada, uma vez que depende da percentagem de furação, constituição do betão que incorpora os blocos entre outros factores. Uma forma alternativa de obter este valor seria através da expressão (3.18). No entanto, a empresa que comercializa os blocos referidos não dispõe de todos os dados requeridos para o cálculo, nomeadamente o módulo de elasticidade.

Segundo o Eurocódigo 6 – Projecto de Estruturas de Alvenaria, a resistência característica à compressão, f_k , que resulta da resistência conjunta dos elementos utilizados e da argamassa empregue, está relacionada com o módulo de elasticidade, E , por: [30]

$$E = 1000 \cdot f_k \quad (7.1)$$

Assim, e fazendo uma analogia um pouco grosseira, pode-se determinar, de forma muito aproximada, o valor do módulo de elasticidade dos blocos, conhecendo a sua resistência à compressão.

Assim, para os blocos da solução em estudo tem-se:

Quadro 6 – Características dos blocos individuais

Tipo de bloco	Espessura	Resistência à compressão (MPa)	E estimado (GPa)	Massa Volúmica (kg/m ³)	C _L estimado (m/s)	μ
Bloco Leve Industrial	0,10	1,8	1,8	700	1600	0,01
Bloco Térmico	0,25	2,5	2,5	650	1960	0,01

Dada a imprecisão no cálculo da velocidade de propagação das ondas longitudinais, C_L , modificou-se o valor deste parâmetro, fazendo-o variar 10% em relação ao estabelecido no quadro 6.

Com estes dados é então possível prever o comportamento dos elementos. Recorrendo ao método de Sharp, conhecem-se os valores de R por bandas de 1/3 de oitava. Com estes valores faz-se um ajuste idêntico ao realizado para os valores obtidos em câmara reverberante, conforme indicado no capítulo 3.2.3 e obtém-se o índice de redução sonora para este método. O procedimento para a obtenção do índice de redução sonora pelo método de Meisser é o mesmo.

Nas figuras 37 e 36 estão representados os resultados obtidos para o método de Sharp e de Meisser, respectivamente, para as características indicadas no quadro 6. A variação da velocidade de propagação das ondas longitudinais não altera muito o comportamento do elemento, obtendo-se sempre o mesmo valor para o índice de redução sonora, nos dois métodos propostos para a previsão deste parâmetro.

Através do modelo de Sharp obteve-se, para o índice de redução sonora, o valor de 57 dB, enquanto pelo modelo de Meisser esse valor desceu para 56 dB.

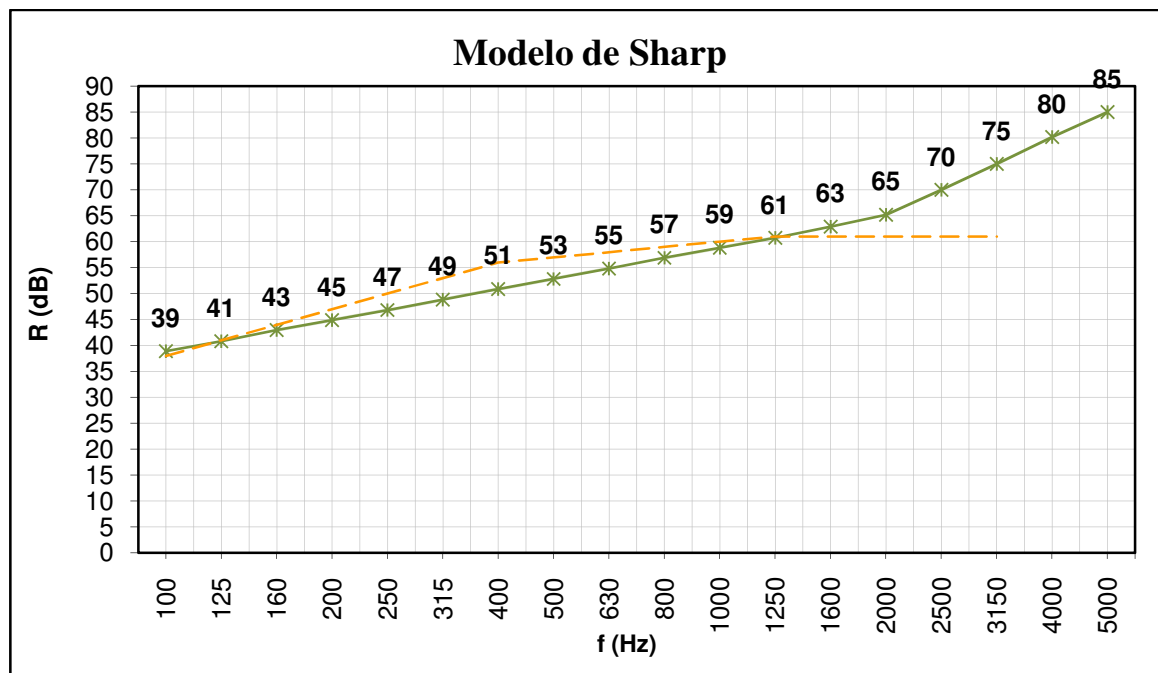


Fig. 37 – Resultados obtidos pelo modelo de previsão de Sharp

Como a frequência de ressonância do conjunto é muito baixa, $f_0 = 40$ Hz, bem como as frequências críticas de cada pano ($f_{c1} = 132$ Hz e $f_{c2} = 373$ Hz) o aspecto da curva não é muito semelhante à observada na figura 36. Os segmentos de recta de declive definido, 6 dB/octava e 15 dB/octava, por seu turno, são claramente identificáveis.

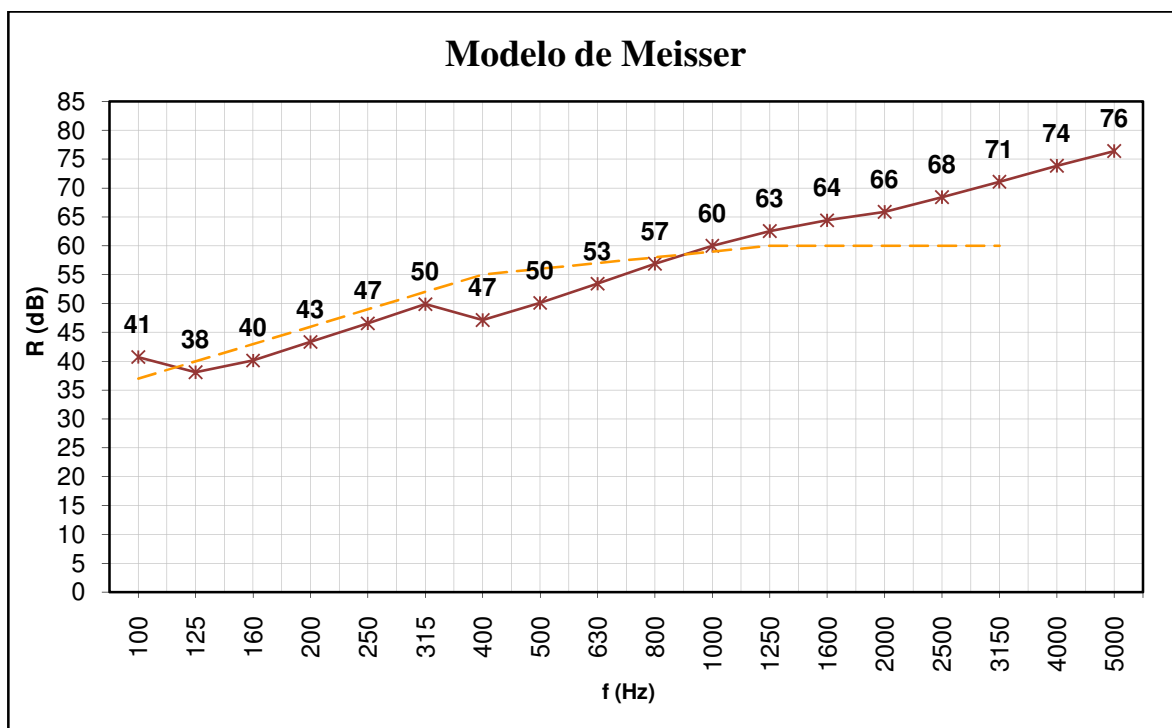


Fig. 38 – Resultados obtidos pelo modelo de previsão de Meisser

Nesta representação pode-se identificar as frequências críticas de cada um dos panos da parede, dado que há uma quebra visível nesses pontos. Tal como para o método de Sharp, não é possível identificar no gráfico o abaixamento devido à ressonância do conjunto por se situar numa gama muito baixa.

7.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Para uma melhor comparação, reuniram-se os resultados obtidos numa só figura (figura 39).

Observa-se que na zona das médias frequências as diferenças não são muito significativas. No entanto, a partir dos 2500 Hz os modelos de previsão distanciam-se bastante dos valores obtidos em câmara reverberante. Também na frequência dos 125 Hz, primeira frequência crítica do sistema, as diferenças registadas são significativas.

Na figura 40 ilustram-se os índices de redução sonora obtidos por cada um dos modelos de previsão.

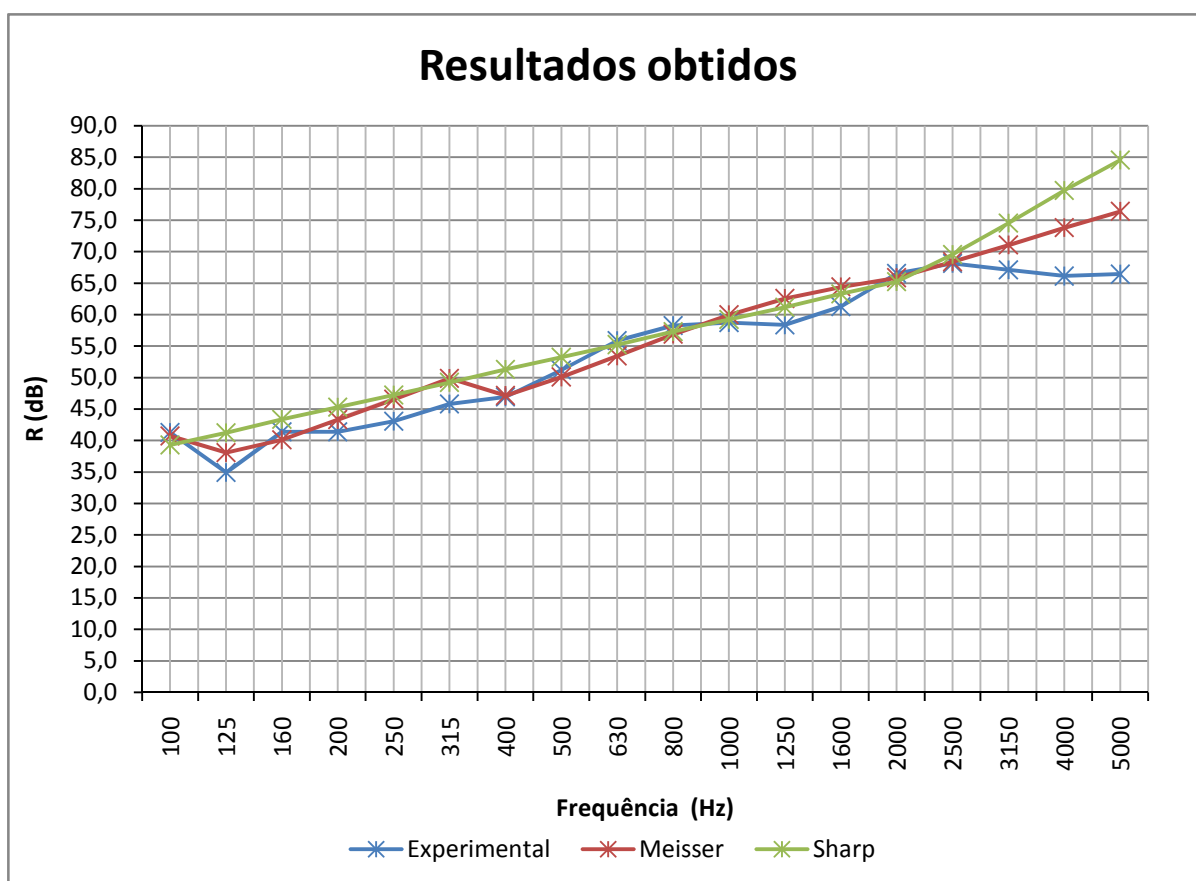


Fig. 39 – Comparação dos resultados pelos vários métodos

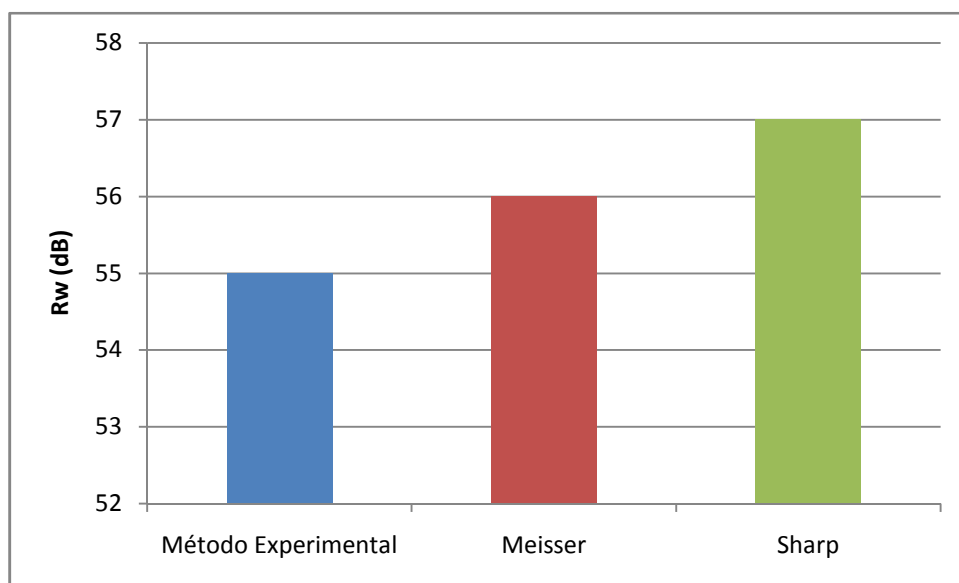


Fig. 40 – Índice de redução sonora obtido por cada método

As diferenças obtidas podem ser explicadas pelas limitações dos métodos anteriormente indicadas mas também podem ser resultado da falta de dados exactos, no que respeita ao cálculo de C_L dos materiais. Para uma análise detalhada, encontram-se listados no quadro 7 os valores por terço de oitava da redução sonora de cada método e as diferenças entre os modelos de previsão e o método experimental.

Quadro 7 – Redução sonora obtida pelos diferentes métodos

Frequência (Hz)	Método Experimental	Meisser	Sharp	Meisser - ME	Sharp - ME
100	41,3	40,3	38,9	-1,0	-2,4
125	34,9	37,8	40,8	2,9	5,9
160	41,4	39,9	43,0	-1,5	1,6
200	41,4	43,1	44,9	1,7	3,5
250	43,1	46,3	46,8	3,2	3,8
315	45,8	48,5	48,9	2,7	3,0
400	47,0	47,1	50,9	0,1	4,0
500	51,2	50,3	52,8	-0,9	1,7
630	55,9	53,6	54,9	-2,2	-1,0
800	58,3	57,1	56,9	-1,2	-1,4
1000	58,7	60,0	58,8	1,2	0,1
1250	58,4	62,5	60,8	4,2	2,4
1600	61,3	64,2	62,9	2,9	1,6
2000	66,6	65,6	65,2	-0,9	-1,3
2500	68,1	68,2	70,0	0,0	1,9
3150	67,1	70,8	75,0	3,7	7,9
4000	66,1	73,6	80,2	7,5	14,1
5000	66,4	76,2	85,0	9,7	18,6
Rw	55	56	57	1	2

Regra geral o modelo de Meisser apresenta valores mais ajustados aos obtidos, exceptuando-se as bandas de frequência 630 Hz a 1600 Hz. A redução sonora obtida pelos modelos de previsão é próxima da obtida pelo método experimental.

O método de Meisser revela-se bastante fidedigno para a previsão do índice de isolamento a sons aéreos, apesar dos princípios que intervêm na sua formulação que não têm em conta o tipo de material usado para conferir isolamento ao elemento.

O modelo de Sharp apresenta resultados ainda satisfatórios, apesar de, para frequências superiores a 2500 Hz, o modelo, a par do de Meisser mas de forma mais acentuada, se distanciar bastante dos resultados experimentais.

Os modelos de previsão utilizados não têm como base os mesmos pressupostos. O método de Sharp é mais indicado para elementos leves enquanto o de Meisser é mais apropriado para elementos mais pesados. À partida, o valor obtido pelo ensaio experimental deveria ser mais fiável. Contudo, os problemas ocorridos durante a montagem dos blocos, como indicado em 5.2.4, fizeram com que se criassem espaços de ar entre as juntas verticais de alguns blocos o que pode ter influenciado os valores assim obtidos.

7.4 ANÁLISE REGULAMENTAR

O método experimental segundo a norma NP EN 20140-3 é um meio de prever o índice de redução sonora conferida por determinado elemento que se revela eficaz, pois trata-se de um ensaio onde todas as camadas do elemento são consideradas, ao invés dos modelos de previsão enunciados, que não permitem a correcta definição do elemento. No entanto, este método também apresenta algumas lacunas pois não é possível obter, de forma precisa, o índice de redução sonora que esse elemento apresentará na realidade, excepto se efectuado um ensaio em obra, com os compartimentos já totalmente mobilados.

A presença de transmissões marginais em obra é um facto que ocorre sempre, podendo apenas ter maior ou menor peso consoante o tipo de elementos da envolvente do compartimento em análise. Assim, se o elemento em análise tiver um índice de redução sonora bastante inferior ao R_w dos elementos da envolvente a importância das transmissões marginais será reduzida. Nos casos em que os índices de redução sonora do elemento em análise e dos elementos da envolvente sejam semelhantes, a quantificação das transmissões marginais assume um papel importante para assegurar o cumprimento do estabelecido no RRAE.

As transmissões marginais podem ser estimadas de acordo com o método proposto pela EN 12354. Com este procedimento o R'_w , tem em conta todos os caminhos de transmissão, ou seja, contempla o índice de redução sonora devido à transmissão directa, determinado em laboratório, e os índices de redução sonora devidos às transmissões marginais [1].

A figura 6 esquematiza os vários caminhos de transmissões marginais. Estes caminhos são multiplicados pelo número de elementos que conduzem a transmissões marginais, geralmente 4: paredes esquerda e direita, tecto e pavimento [1].

Esta análise é necessária pois o facto de se ter obtido um índice de redução sonora de 55 dB não garante o cumprimento do RRAE, que estipula para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado um valor igual ou superior a 50 dB. Como se percebe pela expressão (3.7) o parâmetro avaliado no regulamento referido engloba a presença de transmissões marginais e o

acréscimo devido à superfície do elemento de separação, que será tanto mais significativo quanto mais esta superfície se afaste da área de referência, 10 m².

Considerando o indicado em (3.8) pode afirmar-se que, em situações correntes, os blocos mistos estudados conferem um índice de redução sonora que cumpre as exigências normativas. Contudo, convém frisar que tal afirmação só poderá ser plenamente suportada com o conhecimento das características da envolvente, que permitam obter o índice de redução sonora aparente, R'_w .

7.5 ANÁLISE ECONÓMICA

A caracterização de um elemento construtivo não é completa se não for feito um estudo que indique a viabilidade económica do elemento. Um elemento construtivo pode ter um óptimo desempenho para a função que foi designado mas se não for financeiramente competitivo dificilmente será aplicado.

7.5.1 RENDIMENTO DA MÃO-DE-OBRA

A duração de execução de determinada tarefa pode ser influenciada por diversos factores. Esses factores, que passam pelos factores climatéricos, pelas condições da obra e a eficiência/ experiência dos operadores, podem acelerar ou atrasar o desenvolvimento dos trabalhos.

Devido à importância que o planeamento apresenta para os trabalhos de construção, Paz Branco [31] observou ao longo de vários anos as condições de várias obras e compilou-as da forma que se mostra no quadro 8.

Quadro 8 – Coeficientes de correcção dos valores teóricos das tabelas de rendimentos [31]

Condições particulares da obra	Eficiência dos quadros e/ou dos meios disponíveis				
	Óptimas	Muito boas	Boas	Medianas	Más
Óptimas					
Trabalho de desenvolvimento linear; fácil	1,000	0,910	0,820	0,740	0,615
Boas					
Trabalho de fácil coordenação, sem grande diversidade	0,950	0,855	0,770	0,690	0,620
Medianas					
Definição incompleta, desenvolvimento difícil	0,840	0,755	0,680	0,610	0,550
Más					
Coordenação e previsão difíceis e condições de trabalho embaraçosas	0,730	0,655	0,590	0,530	0,475

Do seu trabalho resultaram ainda várias tabelas que ilustram, para as várias tarefas possíveis, os rendimentos de mão-de-obra. No caso de elevação de alvenaria apresenta factores que têm em conta o factor de aberturas, a necessidade de andaimes e outros agentes que alteram o rendimento obtido em

zona corrente. Assim, para uma solução idêntica à estudada mas sem trabalho de fábrica, ou seja, sem a incorporação dos blocos mistos, é importante definir os rendimentos que são de esperar para a realização dos panos de parede (quadro 9) e para a colocação do isolamento sonoro (quadro 10) entre os mesmos.

Quadro 9 – Rendimentos de mão-de-obra para execução de paredes de betão [31]

Material	Aplicação				Síntese dos componentes							
Tipo de bloco	Dimensões (cm)			Massa (kg)	Obra		Tempos padrão H*h					
	Comprimento	Largura	Altura		Espessura da parede (cm)	Quantidade por m² de parede	Genéricos		Particulares			
							Factor teórico	Factor fisiológico (massa)	Factores dependentes, particulares, na correcção do factor teórico			
									F	K ₁	K ₂	K ₃
De betão de jorra	40	20	10	12,000	10	11,6	0,367	1,223	1,34	1,32	-	1,21
	40	20	15	18,000	15	11,6	0,398	1,365	1,34	1,32	-	1,21
	40	20	20	24,000	20	11,6	0,518	1,506	1,34	1,32	-	1,21
De betão celular	60	20	10	9,600	10	7,93	0,296	1,167	1,36	1,40	-	1,17
	60	20	15	14,400	15	7,93	0,349	1,280	1,36	1,40	-	1,17
	60	20	20	19,200	20	7,93	0,434	1,393	1,36	1,40	-	1,17
	60	20	24	23,000	24	7,93	0,471	1,482	1,36	1,40	-	1,17
De betão de argila expandida	50	20	5	5,500	5	9,34	0,241	1,070	1,35	1,36	-	1,18
	50	20	8	6,000	8	9,34	0,287	1,082	1,35	1,36	-	1,18
	50	20	12	8,000	12	9,34	0,356	1,129	1,35	1,36	-	1,18
	50	20	20	15,000	20	9,34	0,494	1,294	1,35	1,36	-	1,18
	50	20	25	17,000	25	9,34	0,586	1,341	1,35	1,36	-	1,18
De betão, faces acabadas	40	20	10	12,500	10	11,6	0,403	1,235	1,34	1,32	-	1,21
	40	20	15	18,500	15	11,6	0,434	1,376	1,34	1,32	-	1,21
	40	20	20	24,500	20	11,6	0,554	1,518	1,34	1,32	-	1,21

Onde,

K₂ – factor aberturas

K₃ – factor pequenos panos

K₄ – factor panos curvos

K₅ – factor andaime-cavalete

O factor teórico, que corresponde ao somatório dos produtos das quantidades de operações fundamentais pelos correspondentes tempos de execução, deve ser corrigido pelos factores apresentados se as paredes apresentarem alturas superiores a 1,50 m, aberturas ou forem constituídas por pequenos panos.

A utilização da tabela baseia-se na multiplicação do factor teórico pelos vários factores particulares aplicáveis.

A correcção correspondente ao factor fisiológico, para ter em conta a massa dos blocos, pode ser diferente do indicado se a massa não corresponder ao indicado. Nesses casos, o factor k_1 toma o seguinte valor:

$$k_1 = \frac{40 + P}{42,5}$$

Sendo P (kg) a massa do tijolo ou bloco a aplicar

Quadro 10 – Rendimentos de mão-de-obra para colocação de isolamento [31]

Designação, caracterização		Acabados, aplicação por colagem (placas) (m ²)					Acabados, estrutura suspensa (placas) (m ²)		Por acabar, placas ou mantas coladas (m ²)		Por acabar, granulado est. (m ₂)		
		Dimensões em centímetros										Aglomer.	Estabiliz. superfície
		30 30	60 60	60 30	90 30	100 100	60 60	100 100	100 100	300 90			
Tectos	Planos	1,47	0,74	1,10	0,98	0,53	0,87	0,62	0,30	0,35	-	-	
	C/ relevo	1,95	0,98	1,46	1,30	0,70	1,14	0,82	0,39	0,46	-	-	
Pisos	Planos	0,93	0,47	0,69	0,62	0,33	-	-	0,19	0,22	0,38	0,25	
	C/ acidentes	1,23	0,62	0,92	0,82	0,44	-	-	0,25	0,29	0,46	0,30	
Paredes	Planos	1,29	0,65	0,96	0,86	0,46	-	-	0,26	0,31	-	-	
	C/ relevo	1,70	0,86	1,27	1,13	0,61	-	-	0,35	0,40	-	-	
Planos inclinados	Planos	1,10	0,56	0,83	0,73	0,40	-	-	0,17	0,14	0,46	-	
	C/ relevo	1,45	0,74	1,09	0,96	0,53	-	-	0,23	0,26	0,55	-	

Os rendimentos para o assentamento das paredes de alvenaria foram feitos tendo como pressuposto que 2/3 do tempo era trabalho de pedreiro e o tempo remanescente trabalho de servente. Para a colocação de isolamento não é indicada a distribuição do serviço pelos operários.

7.5.2 RENDIMENTOS PARA A SOLUÇÃO EXECUTADA

Nestes termos, é possível calcular o tempo que, em condições normais, leva a execução de uma parede semelhante à realizada com os blocos prefabricados.

Para se obter o tempo total da execução da parede somam-se os tempos de elevação de cada um dos panos de alvenaria com o tempo da colocação do isolante acústico.

Para a execução do pano mais espesso, de 25 cm, em blocos de betão de argila expandida, cada um com 15,3 kg, estima-se o seguinte rendimento:

$$R = 0,586 \times \left(\frac{40 + 15,3}{42,5} \right) \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,18 = 0,90 \text{ H/h}$$

O rendimento para a execução do pano mais fino, 10 cm, em blocos de betão de argila expandida, cada um com 7 kg, não está definido na tabela 6. No entanto, considerando uma variação linear, pode-se estimar o rendimento:

$$R = 0,3215 \times \left(\frac{40 + 7}{42,5} \right) \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,18 = 0,42 \text{ H/h}$$

A colocação do isolamento acústico, supondo que as placas teriam dimensão 100 x 100, é de leitura directa, pelo que seria preciso o rendimento indicado:

$$R = 0,46 \text{ H/h}$$

7.5.3 ENCARGOS COM OPERÁRIOS

Conjugando o rendimento de mão-de-obra com o salário horário dos operários necessários para a realização de determinada tarefa é possível prever o custo da execução dessa mesma tarefa.

O salário de cada operário é estabelecido de acordo com a categoria profissional em que este se enquadra. Para o ano de 2008 foram estipuladas as remunerações mínimas constantes do quadro 8 [31]

Quadro 11 – Retribuição mínima de alguns profissionais do sector da construção [31]

Grupo	Categoria	Retribuição mínima
VIII	Oficial de primeira	532,00€
IX	Pedreiro de primeira	531,50€
XII	Servente	427,00€

O subsídio de refeição diário é de 5,00€.

O cálculo do salário horário é dado por:

$$S.h. = \frac{\text{Salário Mensal} \times 12 \text{ meses}}{40 \text{ horas} \times 52 \text{ semanas}} \quad (7.3)$$

É ainda necessário ter em conta os encargos para o empregador decorrentes de subsídios de férias, Natal, seguro, e outros encargos. Assim, o valor obtido para o salário horário pela expressão anterior deve ser multiplicado por um factor que englobe todos os encargos que a entidade empregadora tem de suportar. Para o ano de 2005, com a inclusão do subsídio de refeição (20,44%), a totalidade dos encargos era de 142,39%. [32]

Considerando que no ano de 2008 as percentagens para cada encargo específico se mantiveram pode-se calcular o salário horário que o empregador efectivamente tem de dispor. No entanto, uma vez que se dispõe do subsídio de refeição diário para este ano, pode obter-se o valor dos encargos sem este parâmetro e adicioná-lo posteriormente.

Quadro 12 – Salário horário dos operários que intervêm na construção de uma parede

Categoria	Retribuição mínima (€)	Salário horário(€)	Encargos (%)	Subsídio de refeição (€/h)	Salário Horário com Encargos (€)
Oficial de 1ª	532	3,07	121,95	0,60	7,41
Pedreiro de 1ª	531,5	3,07	121,95	0,60	7,41
Servente	427	2,46	121,95	0,60	6,06

7.5.4 COMPARAÇÃO ENTRE CONSTRUÇÃO TRADICIONAL E CONSTRUÇÃO COM BLOCOS MISTOS

A montagem de 10 m² de parede com os blocos mistos, para a realização do ensaio em câmara reverberante, teve a duração de 3h30, estando 3 homens a trabalhar nela. As condições da obra podem ser consideradas como óptimas, pois permitiram um trabalho de desenvolvimento fácil, e a eficiência dos quadros poder ser igualmente considerada óptima, dado que a parede foi realizada por profissionais experientes. Nesse caso, e de acordo com o indicado no quadro 5, o coeficiente correctivo a aplicar é de 1,0.

No entanto, deve ter-se em consideração que era a primeira vez que se fazia uma parede com estes blocos, o que diminui o rendimento de colocação. Durante a montagem os operários encontraram alguns problemas relacionados com as dimensões da espuma que nem sempre se apresentavam regulares. Afigura-se, pois, ser aconselhável a aplicação de um factor correctivo, de modo que se obtenha uma duração mais próxima da real, aquando da realização de paredes com este tipo de blocos, tendo em conta as implicações inerentes à primeira montagem. Considera-se adequado admitir ganhos de 20% em realizações futuras de paredes com este tipo de blocos. Neste caso, a duração final esperada para a realização de uma parede de 10 m², sem aberturas é de 8h45, como consta no quadro 10.

Quadro 13 – Tempo de execução da parede com blocos mistos

Tarefa	Duração (h)	Coeficiente correctivo	Duração final
Elevação de parede com blocos mistos	10h30	1,20	8h45

Para uma parede constituída pelos mesmos materiais, mas de forma tradicional, ou seja, elevação de um pano de alvenaria, colocação de isolamento acústico e elevação do segundo pano de alvenaria, a variação dos custos prende-se com a diferença dos tempos de realização das tarefas. Assim, identifica-se na tabela 11, o tempo previsto para a realização da parede de forma tradicional.

Quadro 14 – Tempo de execução de parede dupla segundo método tradicional

Tarefa	Mão-de-Obra (1 m ²)	Mão-de-Obra (10 m ²)	Tempo Total
Elevação de pano de parede de blocos de betão de argila expandida (e=25 cm)	0,90	9	9h
Elevação de pano de parede de blocos de betão de argila expandida (e=10 cm)	0,42	4,2	4h12
Colocação de isolamento acústico	0,46	4,6	4h36
		Total	17h48

Comparando a duração final de cada uma das soluções, verifica-se que a construção com os blocos mistos, prefabricados, é consideravelmente mais rápida.

Todavia, as durações previstas nos quadros 10 e 11 são para condições de obra e eficiência de quadros e meios disponíveis óptimas. Em obra, é bastante complicado garantir estas condições. Por esse motivo, aplicou-se um factor correctivo de 0,610, o que corresponde a condições de obra medianas e eficiência de quadros igualmente medianas. A opção por este factor justifica-se na medida em que, em obra, é sempre difícil assegurar vias de circulação regulares, o transporte dos elementos comporta mais dificuldades e a eficiência dos quadros é, normalmente, mediana, sendo raro encontrar equipas cuja eficiência seja muito boa ou óptima.

Assim, para a construção em obra de uma parede semelhante, seria de esperar que a duração fosse:

- Parede com blocos prefabricados

$$Duração = \frac{8h45}{0,610} = 14h20$$

- Parede com solução tradicional

$$Duração = \frac{9h}{0,610} + \frac{4h12}{0,610} + \frac{4h36}{0,610} = 14h45 + 6h53 + 7h32 = 29h10$$

Para que a solução apresentada seja economicamente competitiva é necessário que o acréscimo de custo, resultante da realização dos blocos prefabricados, não supere o custo de mão-de-obra adicional da solução tradicional.

Tendo em conta as durações obtidas e o salário horário dos operários com encargos, estimou-se que o acréscimo de custo do bloco prefabricado, quando comparado com o custo dos blocos e painéis de isolamento acústico isoladamente, que o torna competitivo economicamente seja dado por:

Custo solução tradicional

$$\begin{aligned} &= (14,75 + 6,88) \times \left(\frac{2}{3} \times 7,41 + \frac{1}{3} \times 6,06 \right) + 7,53 \times \left(\frac{1}{2} \times 7,41 + \frac{1}{2} \times 6,06 \right) \\ &= 201,26 \text{ €} \end{aligned}$$

$$Custo \text{ solução prefabricada} = 14,33 \times \left(\frac{2}{3} \times 7,41 + \frac{1}{3} \times 6,06 \right) = 99,74 \text{ €}$$

$$Diferença \text{ de custos} = 201,26 - 99,74 = 101,52 \text{ €}$$

Como os blocos têm dimensões de coordenação de 20 x 50 cm, para 10 m² de parede são precisos 100 blocos. Assim, o custo de produção de cada bloco, incluindo o custo de argamassa de colagem de um dos panos (na construção tradicional o isolamento é colado apenas numa das faces), não deverá exceder 1,00 €.

8

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Os blocos mistos estudados apresentam um bom comportamento para o isolamento a sons de condução aérea. Devido às diferentes espessuras e à sua composição as frequências críticas de cada painel são numa gama para as quais o ser humano é pouco sensível. Este facto contribui, de forma significativa, para o desempenho do elemento que apresenta um índice de redução sonora de 55 dB. Deste modo, espera-se que para determinações do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos interiores este satisfaça as imposições regulamentares.

Os modelos de previsão apresentam um índice de redução sonora superior, pelo método de Sharp obtém-se um índice de redução sonora de 57 dB enquanto pelo método de Meisser o índice obtido é de 56 dB. O método de Meisser revela-se mais adequado, apresentando, em regra, valores mais próximos que os obtidos pelo método de Sharp. À partida este facto seria previsível dado que o método Sharp é mais indicado para paredes duplas de panos leves.

Constituídos por blocos de betão leve separados por um aglomerado de espumas de poliuretano, apresentam uma melhoria bastante significativa para o tempo de realização de parede quando comparada com a solução tradicional. Podem ainda registar uma melhoria de qualidade e rigor pelo processo de montagem dos blocos prevista, a prefabricação. Contudo, o bloco misto revelou-se demasiado pesado para ser facilmente manuseado. Deve ainda ter-se cuidado no armazenamento deste bloco, devido ao mau comportamento que a espuma de poliuretano apresenta em situação de incêndio.

Sugere-se, para trabalhos futuros, o estudo do comportamento de um bloco semelhante cujo peso final seja inferior, de tal forma que um operário consiga facilmente manipulá-lo.

O destacamento a dar à espuma deverá ser superior ao realizado para obter maior encaixe entre blocos consecutivos.

Um dos aspectos bastante importantes para a validação deste bloco misto prende-se com a construção de uma parede numa obra para que se possa medir o índice de redução sonora aparente, contribuindo assim, para a determinação da importância das transmissões marginais. Desta forma, concluir-se-à, de modo mais correcto, sobre a utilidade do bloco misto estudado.

Recorde-se que os blocos foram produzidos de forma manual, o que não se afigura o método mais prático. Uma questão importante a analisar é a da viabilidade da sua montagem em fábrica, assegurando um processo de montagem industrial. Seria de grande utilidade a realização de um estudo que, por um lado concluísse da possibilidade de montagem em fábrica, e, por outro lado, sendo possível esse processo, que estudasse a melhor forma para otimizar a montagem dos blocos, de tal forma que maximizasse as contrapartidas financeiras.

Considerando que a camada resiliente resulta do aproveitamento de desperdícios, sendo, portanto, um material de certo modo ecológico, seria interessante desenvolver um bloco também ele ecológico, de forma a enquadrar este produto com a política de protecção ambiental que vem sendo incentivada.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Carvalho, A. P. *Acústica Ambiental e de Edifícios*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [2] Henrique, L. L. *Acústica Musical*, Fundação Calouste Gulbenkian, 2002
- [3] <http://www.britannica.com/eb/article-9109556>. - Encyclopædia Britannica Online, 2008
- [4] Patrício, J. V. *Comportamento Acústico de Pavimentos não-Homogéneos de Edifícios a Sons de Impacto*, LNEC, 1999
- [5] Beranek, L. L. *Acoustics*, Acoustical Society of America, 1993
- [6] <http://www.quiosquedigital.pt> , 15 de Março de 2008
- [7] <http://www.publico.pt> , 15 de Março de 2008
- [8] *Constituição da República Portuguesa*, sexta revisão constitucional, 2004
- [9] *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio*. - Diário da República – 1ª Série-A N.º109. 2002
- [10] Rocha, I., Vieira, D. F. *A legislação básica do ambiente*, colecção ambiente, volume 0, 1997
- [11] *Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro*. - Diário da República – 1ª Série N.º 12. 2007
- [12] *Regulamento Geral sobre o Ruído, Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro*. - Diário da República – 1ª Série-A N.º263. 2000
- [13] *Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho*.
- [14] Josse, R. *Notions D'Acoustique*, Éditions Eyrolles, 1977
- [15] Webb, J. D. *Noise Control in Industry*, Anchor Press Limited, 1978
- [16] Pujolle, J.. *La Pratique de L'Isolation Acoustique des Batiments*, Éditions du Moniteur, 1978
- [17] Faria, J. A.. *Divisórias Leves Prefabricadas: Concepção e Avaliação de Viabilidade de um Sistema Realizado com Base em Madeira e Derivados*, Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996
- [18] Mascarenhas, J. *Sistemas de Construção II – Paredes: paredes exteriores (1ª parte)*, Livros Horizonte, 2002
- [19] Mesquita, D. *Viabilidade técnico-económica do tijolo face à vista em fachadas de edifícios em Portugal*, Instituto Superior Técnico, 2007
- [20] Ramalho, M. *Paredes Divisórias – Painéis Prefabricados de Alvenaria de Tijolo Revestida a Gesso*, Construlink Press
- [21] DTU 20.1 *Travaux de bâtiment: Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - parois et murs Partie 1 : cahier des clauses techniques*, 1994
- [22] Sousa, H. *Materiais Para Alvenaria – Apreciação de algumas produções e sugestões visando a melhoria da sua qualidade*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1988

- [23] Mascarenhas, J. *Sistemas de Construção III – Paredes (2ª parte) e Materiais Básicos (1ª parte)*, Livros Horizonte, 2003
- [24] <http://www.maxit.pt>, 16 de Abril de 2008
- [25] Sousa, H. *Paredes de Alvenaria: Situação actual e novas tecnologias. Livro de actas*, Fundação Dr. A. Cupertino de Miranda, 2002.
- [26] Dirk, J. *Caracterização e desenvolvimento do comportamento acústico de um sistema de divisórias ligeiras à base de espumas de poliuretano, Dissertação de Mestrado Integrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008*
- [27] Bies, David A.; Hansen, Colin H. - *Engineering noise control : theory and practice*. 3ª Edição. London: Spon Press, 2003
- [28] Bragança, L., Patrício, J. Case Study: *Comparison between the Acoustic Performance of a Mixed Building Technology, Building and a Conventional Building*, BUILDING ACOUSTICS · Volume 11 · Number 1 · 2004 Pages 79 – 90
- [29] *EN ISO 140-3 "Acústica: Medição em laboratório do isolamento a sons aéreos - Parte 3: Medição em laboratório do isolamento sonoro a sons aéreos de elementos de construção"*. - Comité Europeu de Normalização, 1995
- [30] *Eurocódigo 6- Projecto de Estruturas de Alvenaria Parte 1-1: Regras Gerais para Edifícios – Regras para Alvenaria Armada e Não Armada*, 1996
- [31] Branco, J. *Rendimentos de Mão-de-Obra, Materiais e Equipamento em Edificação e Obras Públicas (tabelas)*, Texto Editora, 1998
- [32] *Boletim Informativo nº 15/2008*, AICCOPN
- [33] *Boletim Informativo nº 12/2005*, AICCOPN
- [34] <http://www.dmgb.wordpress.com>, 28 de Junho de 2008

ANEXO

DETERMINAÇÃO DO ISOLAMENTO A SONS AÉREOS - R_w [dB]NORMAS: NP EN 20140-3 (ISO 140-3)
NP EN ISO 717-1 (ISO 717-1)

Nº BOLETIM ENSAIO:

DATA DE ENSAIO: 26/05/2008

REQUERENTE:

REFª:

DESCRIÇÃO: Ensaio de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de uma parede constituída por blocos mistos rebocada em ambas as faces.



EQUIPAMENTO UTILIZADO: Sonómetro B&K 2260 (verificado no ISQ – Bol. Ver. 245.70/06.290 de 25 de Maio de 2006); Microfone, marca Brüel & Kjær modelo 4189; Pré-amplificador, marca Brüel & Kjær modelo ZC0026; Calibrador B&K 4231 (verificado no ISQ – Bol. Ver. 245.70/06.290 de 25 de Maio de 2006); Termo-Higrómetro Digital 4600; Fonte sonora da marca Brüel & Kjær modelo 4296, com difusão multidireccional de acordo com as Normas ISO 140-3, ISO 3382 e DIN 52210 (certificado de conformidade B&K de 03 Fevereiro 2006); Amplificador de potência da marca Brüel & Kjær, modelo 2716, com potência de saída para banda larga de 122dB e para 1/3 oitava 100dB de acordo com as Normas ISO 140-3, ISO 3382 e DIN 52210 (certificado de conformidade B&K de 03 Fevereiro 2006).

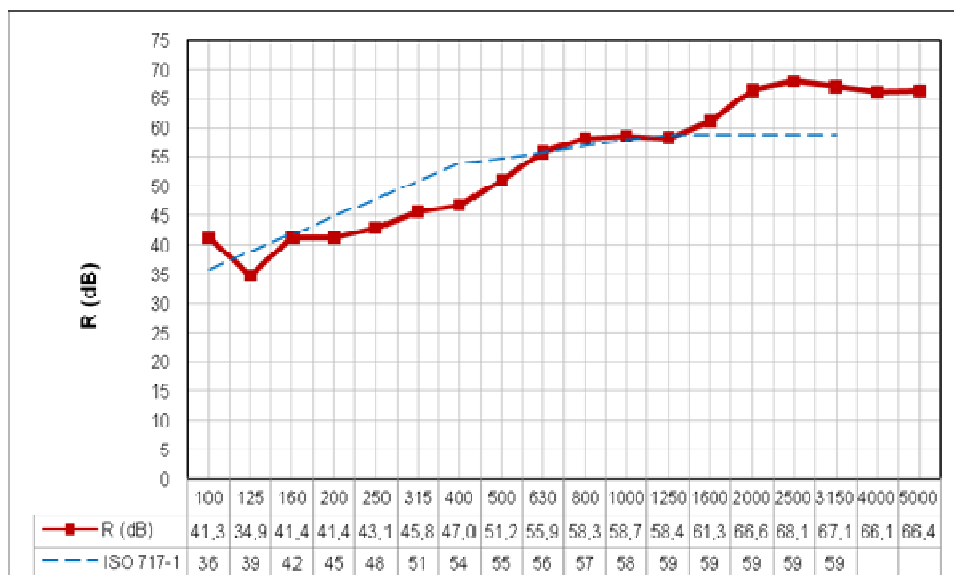
CARACTERÍSTICAS DA CÂMARA REVERBERANTE:

Volume: 217.7 m³
Temperatura do Ar: 18.8 °C
Humidade do Ar: 78%

DIMENSÃO DA AMOSTRA: 3,30 x 3,30 m²

Freq. (Hz)	R (dB)
100	41,3
125	34,9
160	41,4
200	41,4
250	43,1
315	45,8
400	47,0
500	51,2
630	55,9
800	58,3
1k	58,7
1.25k	58,4
1.6k	61,3
2k	66,6
2.5k	68,1
3.15k	67,1
R_w (C;C _{tr})	55 (-2;-6)

GRÁFICO: Índice de Isolamento Sonoro (R)



Data de Emissão: 29-05-2008

Elaborado por:

NI&DEA-FEUP

O responsável:

(Rui Calejo Rodrigues, Prof.)